



**HAL**  
open science

# Évaluation et pilotage des activités de recherche dans la R&D centrale de STMicroelectronics : nouveaux principes de management de la recherche industrielle pour l'innovation de rupture

Yacine Felk

► **To cite this version:**

Yacine Felk. Évaluation et pilotage des activités de recherche dans la R&D centrale de STMicroelectronics : nouveaux principes de management de la recherche industrielle pour l'innovation de rupture. Gestion et management. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2011. Français. NNT : 2011ENMP0015 . pastel-00617971

**HAL Id: pastel-00617971**

**<https://pastel.hal.science/pastel-00617971>**

Submitted on 31 Aug 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ecole doctorale n°396 : Économie, Organisations & Société

## **Doctorat ParisTech**

### **T H È S E**

**pour obtenir le grade de docteur délivré par**

**l'École nationale supérieure des mines de Paris**

**Spécialité "Sciences de Gestion"**

*présentée et soutenue publiquement par*

**Yacine FELK**

le 11 Février 2011

**Evaluation et pilotage des activités de recherche  
dans la R&D centrale de STMicroelectronics**

-

**Nouveaux principes de management de la recherche industrielle  
pour l'innovation de rupture**

Directeurs de thèse : **Pascal LE MASSON et Benoit WEIL**

#### **Jury**

<b>M. Pascal ANCEY,</b>	Docteur, Advanced R&D, STMicroelectronics	Suffragant
<b>M. Jean-François BOUJUT,</b>	Professeur, G-SCOP, Grenoble INP	Rapporteur
<b>Mme. Valérie CHANAL,</b>	Professeur, UMANLAB, Institut d'Etudes Politiques de Grenoble	Suffragant
<b>M. Patrick COGEZ,</b>	Docteur, Directeur Innovation/Recherche externe, STMicroelectronics	Suffragant
<b>M. Sylvain LENFLE</b>	Maître de Conférences -HDR, THEMA, Université de Cergy –Pontoise	Rapporteur
<b>M. Pascal LE MASSON</b>	Professeur, Centre de Gestion Scientifique, MINES ParisTech	Directeur de thèse
<b>M. Benoit WEIL</b>	Professeur, Centre de Gestion Scientifique, MINES ParisTech	Directeur de thèse



*Mines ParisTech n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse. Ces opinions doivent être considérées comme propres à l'auteur.*



*A mes parents,*

*A ma famille,*



# Remerciements

A travers ces quelques mots, je voudrais remercier toutes les personnes qui ont participé directement ou indirectement à ce travail, qui ont été présentes durant ces trois dernières années riches en émotions, rebondissements, joies, doutes, remises en questions, réflexions.

Mes premiers remerciements sont pour mes chers directeurs de thèse, Pascal Le Masson et Benoit Weil. Cette thèse doit beaucoup à l'émulation intellectuelle dont ils ont le secret, les discussions toujours passionnantes qu'ils savent entretenir et à leurs raisonnements souvent contre-intuitifs. Merci pour leurs encouragements et tout ce que j'ai pu apprendre à leurs côtés pendant ces trois années.

Merci à Patrick Coge et Pascal Ancey, mes tuteurs industriels de thèse pour leurs conseils avisés, leur soutien ainsi que la liberté qu'ils m'ont accordée au cours de cette recherche. J'ai pu entreprendre de nombreuses expérimentations, ce qui a largement contribué au travail de recherche présenté.

Je remercie tous les membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail de thèse. Je tiens à remercier Sylvain Lenfle et Jean-François Boujut qui ont examiné ce travail.

Ces travaux de thèse ont bénéficié d'échanges réguliers avec des managers de STMicroelectronics tout au long du processus. Je tiens à remercier chaleureusement Jean-Luc Jaffard, Patrick Blouet, Richard Fournel, Chouaib Rokbi et Najet Chakroun pour leurs commentaires toujours très instructifs et pour la pertinence de leurs réflexions stratégiques. J'ai ainsi pu revoir certaines de mes idées préconçues et enrichir les concepts développés.

Un parcours de thèse n'est pas tout à fait ce que l'on pourrait appeler un « long fleuve tranquille », il est le fruit d'un travail collectif, de discussions, de modélisations et d'expérimentations. Je m'excuse par avance auprès des personnes que je pourrais oublier de citer. Merci à l'équipe de recherche avancée « Above-IC & Derivatives » qui est devenue « 3D-Integration & Derivatives » avec qui j'ai partagé mon quotidien. Un grand Merci tout particulier aux « PhD's » de cette recherche, Perceval Coudrain, Alexis Farcy, Lionel Cadix, Maxime Rousseau, Hamed Chaabouni, Pierre Bar, David Petit, Cedric Durand et Sylvain Joblot qui m'ont initié aux subtilités de la conception dans ce milieu et qui ont fait de ce parcours de thèse beaucoup plus qu'une expérience professionnelle. Je tiens aussi à remercier Sandrine Lhostis, Pascale Mazoyer, Gael Druais, Jean-François Carpentier, Laurent-Luc Chapelon et Fabrice Casset pour le temps consacré autour de différents sujets de recherche.

Même si la distance géographique m'a empêché d'être très présent au CGS, cette thèse doit beaucoup aux échanges avec différents chercheurs. Je remercie Armand Hatchuel et Blanche Segrestin pour leurs remarques et discussions stimulantes pendant les séminaires doctoraux. Merci aussi à l'ensemble des doctorants et post-docs qui m'ont toujours témoigné sympathie et encouragements. Merci à Sophie Hooge et Marine Agogue pour les relectures intransigeantes de mon mémoire. Merci à Douglas Robinson, Ingi Brown, Jeanne Riot, Mélodie Cartel, Frederic Arnoux, Emmanuel Coblenca, Akin Kazakci, Paris Chrysos et Matthias Bejean pour les moments mémorables passés ensemble (notamment à la conférence IPDM).

Merci à Catherine Soullignac, Evelyne Montmayeul, Céline Bourdon, Christine Martinent et Martine Jouanon pour leur support administratif pendant ces trois dernières années.



Trois ans de thèse se sont aussi de nouvelles amitiés qui se lient. Un grand merci à Jean-Luc, Julianne et Sophie pour tous ces bons moments passés à « Grenoble ».

Mes derniers remerciements et non des moindres vont à ma famille. Merci à mes parents pour leurs encouragements et leur soutien indéfectible. Merci à Charlotte et Amine (te lanceras-tu finalement dans une thèse ?) pour nos discussions toujours enrichissantes et pour leur accueil chaleureux à Paris à maintes reprises. Enfin, Merci à Pauline, pour son intérêt, sa présence qui m'ont poussé à explorer de nouvelles voies.





# Table des Matières

Pourquoi les enjeux de l'innovation de rupture dans les semi-conducteurs amènent à reprendre la question de l'évaluation de la recherche ? ..... 15

## - Partie 1 -

**Evaluation et pilotage des activités de recherche dans la R&D centrale de STMicroelectronics-principes de management de la recherche industrielle pour l'innovation de rupture ..... 17**

Introduction .....	21
Les semi-conducteurs, un modèle de gestion de R&D confronté aux enjeux de rupture.....	21
L'évaluation des activités de recherche : les questions soulevées par l'innovation de rupture.....	45
Méthodologie et déroulement de la recherche.....	56
Principaux résultats de nos travaux de recherche.....	64
Vers de nouvelles formes de pilotage de la recherche pour la rupture.....	86
Références .....	90

## - Partie 2 -

**Révision et extension des principes d'évaluation de la recherche industrielle, retour sur trois résultats de recherche..... 97**

### ***Chapitre 1- La recherche avancée comme « Capacité d'absorption conceptuelle »***

Conceptual Absorptive Capacity: leveraging external knowledge for radical innovation.....	103
Introduction .....	104
Part 1. What kind of AC can be compatible with Radical Innovation: theory and hypotheses ....	105
Part 2. Method: Exploratory case study to uncover a new type of absorptive capacity.....	110
Part 3. Results: uncovering a new form of AC in Radical Innovation situations.....	114
Part 4. A model of AC for innovation: combining CAC and EAC to get Rule-Breaking and Rule-Based innovation .....	126
Part 5. Discussion and Conclusion .....	129
References .....	130

**Chapitre 2- La recherche avancée et le renouvellement de plateforme dans les environnements industriels HTVE (High Technological Velocity Environments)**

Advanced R&D for pre-positioning strategies: the economics of platform-shift in HTVE.....	141
Introduction .....	142
Research background and hypothesis: the economics of platform shift in situation of high velocity technological change. ....	143
Research Method.....	146
A Model for platform shift strategies description .....	147
Modeling platform-shift strategies: S1 and S2.....	148
Model simulation and Scenarii Analysis.....	151
New platform renewal strategy (S3) based on design rule stock renewal.....	154
Case study: Designing the next generation of cell phone image sensor platforms .....	157
Results: the relevance of a prepositioning strategy for platform renewal in HTVE .....	164
Discussion .....	164
Managerial Implications.....	165
Conclusion.....	166
References .....	167

**Chapitre 3- La Recherche Avancée et la propriété industrielle : C-K Invent, une méthode pour une capacité de conception de brevet en situation d'innovation radicale**

Designing patent portfolio for disruptive innovation – a new methodology based on C-K Theory	175
Introduction .....	175
Literature Review. ....	176
Methodology .....	178
Modelization and insights from experience .....	178
C-K Invent: towards a methodology for patent proposal .....	183
Results and Discussion.....	184
References .....	185

## - Partie 3-

### **Monographies et trajectoires de recherche : l' « intégration 3D » et les capteurs d'images... 187**

#### ***Chapitre 1 – Relecture d'une trajectoire : l'intégration 3D (de 2007 à 2010)..... 189***

Introduction .....192

L' « intégration 3D » : une alternative à l'essoufflement de la loi de Moore ? .....193

Non pas une intégration 3D mais des intégrations 3D .....199

De nombreux enjeux liés à l' « intégration 3D ».....208

Une exploration organisée.....213

Quelques premières conclusions .....218

Références .....219

#### ***Chapitre 2 – Relecture d'une trajectoire : Les capteurs d'images CMOS et la recherche avancée***

Introduction .....224

Les capteurs d'images « Image sensors » 2D.....225

Les capteurs d'images chez STMicroelectronics .....234

Les capteurs d'images 2D et 3D : modélisation des raisonnements de conception. ....238

Conclusion.....246

Références .....247

#### ***Annexe 1 – Absorptive or “desorptive” capacity managing advanced R&D in semi-conductors for radical innovation .....251***



## ***POURQUOI LES ENJEUX DE L'INNOVATION DE RUPTURE DANS LES SEMI-CONDUCTEURS AMENENT A REPRENDRE LA QUESTION DE L'ÉVALUATION DE LA RECHERCHE ?***

Alors que nous prenons connaissance de notre sujet de thèse en Juin 2007, celui-ci est décrit de la manière suivante par le 'Directeur de la recherche externe et innovation' de la R&D centrale de STMicroelectronics : « Notre industrie a connu une croissance à deux chiffres en moyenne au cours des quarante dernières années, néanmoins depuis quelques temps, nous avons à faire face à deux éléments. Le premier est une explosion des coûts de recherche et développement, le second est une extension des champs de recherche à explorer. Face à ce constat, quels sont les outils qui nous permettraient de mieux instrumenter le pilotage et l'évaluation de nos activités de recherche ? ». Cette première question en appelle une autre sur la nature des activités de recherche, les raisons de l'essoufflement de cette dynamique, l'extension des champs à explorer et les caractéristiques qui font que les outils actuellement employés ne permettent pas de rendre compte du déroulement et des résultats des activités de recherche.

La question de l'évaluation de la recherche n'est pas nouvelle, en effet, la recherche a été remise sur le devant de la scène du fait de l'importance croissante donnée aux connaissances (dans une économie basée sur la production de celles-ci) ainsi qu'à la valeur qui leur est associée. On retrouve souvent un modèle classique où la recherche est évaluée selon son efficacité (Peirce 1871), ce que Peirce décrit dès 1871 de la manière suivante « research considers the relations between the utility and the cost of diminishing the probable error of our knowledge. Its main problem is, how, with a given expenditure of money, time, and energy, to obtain the most valuable addition to our knowledge ». Ces travaux adressent donc un premier paradigme où la recherche a un objectif de productivité scientifique (en suivant une logique de rationalisation liée à la productivité au sens de la production i.e. de planification et gestion des risques), elle est donc considérée dans un premier temps comme une activité de réduction d'incertitude.

Aujourd'hui l'une des questions centrale sur le sujet est que la recherche permet de fait de réduire l'incertitude mais contribue également à l'innovation. La recherche permet donc d'explorer l'inconnu, ce qui fait écho à des questions de recherche académiques contemporaines sur l'évaluation économique des projets de R&D (Wheelwright and Clark 1992) (Midler 1993) (Garel 2003) (Hooge 2010). Les travaux de ces vingt dernières années ont permis de clarifier le lien entre recherche et innovation en identifiant trois grandes formes de contribution des activités de recherche aux projets innovants : (1) dans un premier temps le rapport aux réseaux ou comment la recherche anime des partenaires externes pour accélérer l'accès à la connaissance, (2) dans un second temps comment la recherche prépare l'expertise et les bases de connaissances nécessaires à l'innovation et enfin (3) comment la recherche permet aux différents acteurs de s'approprier un certain nombre de connaissances critiques (notamment par la proposition de brevets). Il existe donc bien des doctrines gestionnaires forgées pour prendre en compte ces trois dimensions, mais qui ne semblent pas rendre compte de la réalité industrielle : nous sommes donc confrontés à un paradoxe entre la question industrielle et ce que le discours académique a pu construire. Légitimement, ceci nous amène à nous interroger sur la question industrielle posée, et sur les réponses que peuvent y apporter les travaux de recherche menés ces vingt dernières années par différentes institutions (finalement, la réponse à cette question n'était-elle pas déjà toute faite ?). La question industrielle semble en fait indiquer les limites de ces réponses, notre



hypothèse est que les questions d'innovation de rupture sont peu compatibles avec ces critères. En effet, les trois dimensions de l'évaluation de la recherche suggèrent quelques premières questions dans le cadre d'approches en rupture : quels sont les réseaux de pourvoyeurs de connaissances à animer, avec qui passer des alliances ou des contrats de collaborations ? Quels sont les champs de recherche à structurer, alors que la probabilité que les connaissances produites soient utiles est faible ? Quels sont les champs de recherche à protéger alors qu'il devient de plus en plus coûteux de maintenir des portefeuilles brevets tout azimut ? Voilà les questions auxquelles nous avons souhaité répondre en montrant comment les travaux sur la conception innovante permettent de remettre en perspective l'évaluation de la recherche. Nos travaux se situent donc dans la continuité de ces questions de recherche, où **l'enjeu est d'étudier plus précisément le lien entre activités de recherche et projets de conception sur des sujets particulièrement innovants.**

Ce manuscrit de thèse constitue une « thèse par article » composée de trois parties. La première partie est une synthèse qui positionne la démarche et les résultats obtenus par rapport aux questions de recherche que nous avons adressées. Ces résultats suggèrent un nouveau modèle de la recherche de rupture que nous retraçons en fin de première partie. La deuxième partie de notre thèse est composée d'une série de trois articles qui représentent pour chacun la révision d'une des facettes classiques de l'évaluation de la recherche : son rapport à un éco-système de laboratoires externes (pourvoyeur de connaissances), sa contribution aux différentes générations de produit et enfin son évaluation par les brevets. Ces trois principaux résultats nous ont amenés à proposer des publications à des conférences internationales (Felk, Le Masson, Weil et al. 2009), (Felk, Le Masson, Weil et al. 2010), (Le Masson, Weil, Felk et al. 2010) (Felk, Le Masson, Weil et al. to be submitted 2011), une soumission à un journal international (Le Masson, Cogez, Felk et al. to be published - 2011) et déposer cinq brevets (Felk and Cadix 2009) (Felk, Chaabouni and Farcy 2009) (Felk and Farcy 2009) (Chaabouni, Felk and Farcy 2009) (Coudrain, Felk and Lamontagne 2010). Notre troisième partie est composée de deux monographies représentant les études de cas réalisées dans l'entreprise autour de deux thématiques (les capteurs d'images CMOS et l'intégration 3D). Elles ont pour but de présenter les enjeux et les trajectoires de différentes activités de recherche.

---

# ***Partie 1***

---

***Evaluation et pilotage des activités de recherche  
dans la R&D centrale de STMicroelectronics***

***Nouveaux principes de management de la recherche industrielle  
pour l'innovation de rupture***

---

“If you can look into the seeds of time, and say which grain will grow  
and which will not, speak then to me.”  
(Shakespeare, Macbeth)

---



# Table des Matières

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>Les semi-conducteurs, un modèle de gestion de R&amp;D confronté aux enjeux de rupture .....</b>	<b>21</b>
2.1	Les semi-conducteurs, un modèle de référence pour la gestion de la R&D .....	21
2.1.1	Une croissance par l'innovation intensive ? .....	22
2.1.2	Une modularisation du secteur industriel au cours des 40 dernières années .....	23
2.1.3	Une croissance par la science et la technologie intensives.....	24
2.1.4	Une organisation liée à cette dynamique : Loi de Moore et Roadmap.....	27
2.1.5	Une gestion exemplaire de la R&D pour l'évaluation de la recherche. ....	30
2.2	Les limites du modèle : Vers un essoufflement de la dynamique ? .....	32
2.2.1	Des efforts accrus de R&D pour maintenir la loi de Moore.....	32
2.2.2	Une diminution des revenus générés par nœud technologique.....	32
2.2.3	L'approche « More than Moore » comme renouvellement de la dynamique ?.....	34
2.3	L'innovation de rupture : les nouveaux enjeux de la rupture.....	35
2.3.1	La R&D Avancée : Evolution de l'organisation et rôle de 2005 à 2010.....	36
2.3.2	Activités pour les thématiques « More than Moore » de 2005 à 2010 .....	40
2.3.3	La recherche avancée: quel modèle de gestion de la recherche pour la rupture ?.....	43
<b>3</b>	<b>L'évaluation des activités de recherche :</b>	
	<b>les nouvelles questions soulevées par l'innovation de rupture .....</b>	<b>45</b>
3.1	Quelle forme de recherche pour l'innovation de rupture ? .....	45
3.2	L'évaluation de la recherche une question ancienne.....	46
3.3	Une évaluation de la recherche par les effets de réseaux.....	50
3.3.1	La recherche pour les réseaux et les communautés de connaissances.....	50
3.3.2	Quels réseaux doit construire la recherche pour les approches en rupture ? .....	51
3.4	Une évaluation de la recherche par sa contribution à la conception de produits .....	51
3.4.1	La recherche : fournisseur de connaissance pour la conception de produit.....	51
3.4.2	Quelles connaissances la recherche doit produire pour l'innovation de rupture ? .....	52
3.5	Une évaluation de la recherche par ses apports en propriété industrielle .....	53
3.5.1	Les brevets comme indicateur des activités de recherche. ....	53
3.5.2	Les brevets et la Recherche pour la rupture : un effort de conception spécifique. ....	54
3.6	Programme et questions de recherche.....	54
<b>4</b>	<b>Méthodologie et déroulement de la recherche.....</b>	<b>56</b>
4.1	De la demande initiale au choix des méthodes d'analyse .....	56
4.2	Les différentes phases de la recherche-intervention .....	56
4.2.1	1 <sup>ère</sup> séquence : une compréhension de l'objet de recherche.....	56
4.2.2	2 <sup>ème</sup> séquence: Modélisation des activités de recherche et fonction de conception....	58
4.2.3	3 <sup>ème</sup> Séquence : Recherche avancée et propriété industrielle.....	58
4.3	Les différents modes de collectes de données.....	58
4.4	Instance d'interprétation et de contrôle de production de connaissances. ....	59
4.5	Principaux résultats de thèse .....	60
4.6	Parcours de recherche : vers une théorie de la recherche pour la rupture .....	63

<b>5 Principaux résultats de nos travaux de recherche.....</b>	<b>64</b>
5.1 Une nouvelle forme de capacité d'absorption pour la recherche de rupture.....	64
5.1.1 Eléments d'expérimentation .....	64
5.1.2 Apport académique:.....	68
Distinction entre capacité d'absorption « épistémique » et « conceptuelle ».....	68
5.1.3 « Conceptual Absorptive Capacity » à l'épreuve : application et cadre d'évaluation	70
5.2 La recherche avancée et le renouvellement des plateformes et compétences.....	73
5.2.1 Le positionnement des activités de recherche avancée : une question de générations	73
5.2.2 Une relecture des stratégies de renouvellement de plateforme.....	76
5.2.3 La recherche avancée et les règles de conception : héritage et potentiel de valeur ....	77
5.3 La question de la recherche avancée et de la propriété industrielle. ....	78
5.3.1 Concevoir des brevets pour la rupture, des éléments de contexte .....	78
5.3.2 « <i>C-K Invent</i> » une méthode pour des brevets de recherche avancée.....	79
5.3.3 Résultats pour l'entreprise : définition du cadre d'utilisation de la méthode .....	83
<b>6 Vers de nouvelles formes de pilotage de la recherche pour la rupture .....</b>	<b>86</b>
6.1 De la réduction d'incertitude à la structuration de l'inconnu.....	87
6.2 Eléments structurants et questions ouvertes de cette nouvelle forme de recherche « pour la rupture ».....	88
<b>Références .....</b>	<b>90</b>

## **1 INTRODUCTION**

Pour préciser notre démarche dans cette première partie, nous expliquerons d'abord la pertinence de la question industrielle et pourquoi celle-ci se pose à juste titre. Ensuite, nous montrerons les limites des approches classiques de gestion de la recherche vis-à-vis des pratiques relatives à notre terrain de recherche. Ceci nous amènera à réviser certains concepts utilisés pour qualifier et évaluer ce type d'activité et à proposer des notions plus adaptées. Nous partirons donc de cette première question pour retracer tout au long de ce manuscrit, la trajectoire de notre raisonnement et l'approche que nous avons suivie. Nous reviendrons dans un premier temps sur la dynamique du modèle de gestion des activités de R&D dans l'industrie des semi-conducteurs. Nous poursuivrons par l'analyse des raisons de l'essoufflement de cette dynamique et l'interprétation du rôle de la structure chargée des activités de recherche avancée. Nous définirons ensuite à travers une rapide relecture de la littérature de gestion ce qu'on pouvait savoir a priori sur le pilotage et l'évaluation de la recherche, ce qui nous permettra d'éclairer les pratiques de gestion mise en place au sein de cette entité. A travers notre première partie, notre ambition n'est donc pas de réaliser une synthèse exhaustive de la littérature sur le pilotage et l'évaluation de la recherche. Nous nous intéresserons à différencier plutôt la littérature qui nous permet d'apporter des éléments de réponse à la question industrielle de celle qui ne le permet pas. Ainsi, c'est ce fil d'Ariane qui définira notre manière d'éclairer la littérature. Nous poursuivrons ensuite par la méthode que nous avons adoptée, avant la présentation de nos résultats, ce qui nous permettra de définir l'apport et notre contribution à travers la théorisation de nos travaux de recherche. Nous verrons enfin en quoi le contexte industriel oblige à réviser les modèles classiques de la littérature et en quoi nous pouvons suggérer un modèle de la recherche avancée.

Mais intéressons nous tout d'abord aux caractéristiques structurelles de l'industrie des semi-conducteurs qui en font un modèle de référence pour la gestion des activités de R&D et celles qui justifient l'existence d'une recherche dite « avancée ».

## **2 LES SEMI-CONDUCTEURS, UN MODELE DE GESTION DE R&D CONFRONTE AUX ENJEUX DE RUPTURE**

### **2.1 LES SEMI-CONDUCTEURS, UN MODELE DE REFERENCE POUR LA GESTION DE LA R&D**

Les composants issus de l'industrie des semi-conducteurs sont un des premiers moteurs de la croissance de ces dernières décennies et sont considérés comme un des socles de la « nouvelle économie ». Ce succès est largement dû à la capacité de l'industrie à produire et proposer des innovations technologiques à un taux de renouvellement très important. Comme nous l'exposerons dans les paragraphes suivants, l'industrie des semi-conducteurs s'appuie sur un effort particulièrement important pour les investissements en R&D (que ce soit en recherche fondamentale ou recherche appliquée), des efforts soutenus pour les dépôts de brevets et la mise en place de vastes réseaux et de partenariats avec des laboratoires de recherche.

### 2.1.1 Une croissance par l'innovation intensive ?

Historiquement, l'industrie des semi-conducteurs et son marché ont connu des taux de croissance très élevés sur une très longue période de temps, ce qui n'a jamais été connu dans aucune autre industrie. Entre 1985 et 1994, la valeur globale des entreprises de l'industrie a été multipliée par 10 avec un taux de croissance annuel de 15%. C'est un des éléments qui montre que l'industrie des équipements électroniques n'a pas fini de se développer, alors que l'audiovisuel est en passe de connaître une révolution profonde avec le développement de nouveaux supports numériques (notamment avec l'avènement de la télévision 3D, ou les différentes consoles de jeu) ou l'automobile qui explore largement les possibilités offertes par ce type d'équipements (que ce soit pour la sécurité passive ou active, les équipements intérieurs, les divers capteurs de l'habitacle et, plus récemment, avec l'apparition de nouveaux programmes pour les véhicules électriques).

Cette croissance globale sur le long terme, est à modérer par la présence de cycles où les périodes de croissance sont suivies de périodes de transitions qui sont dues aux surcapacités de production sur une technologie. Les périodes de crises sont caractérisées par des demandes plus faibles que ce qui avait pu être anticipé, ce qui s'est accompagné par une très forte transformation du paysage industriel avec l'apparition de nouveaux acteurs à distinguer des firmes traditionnelles.

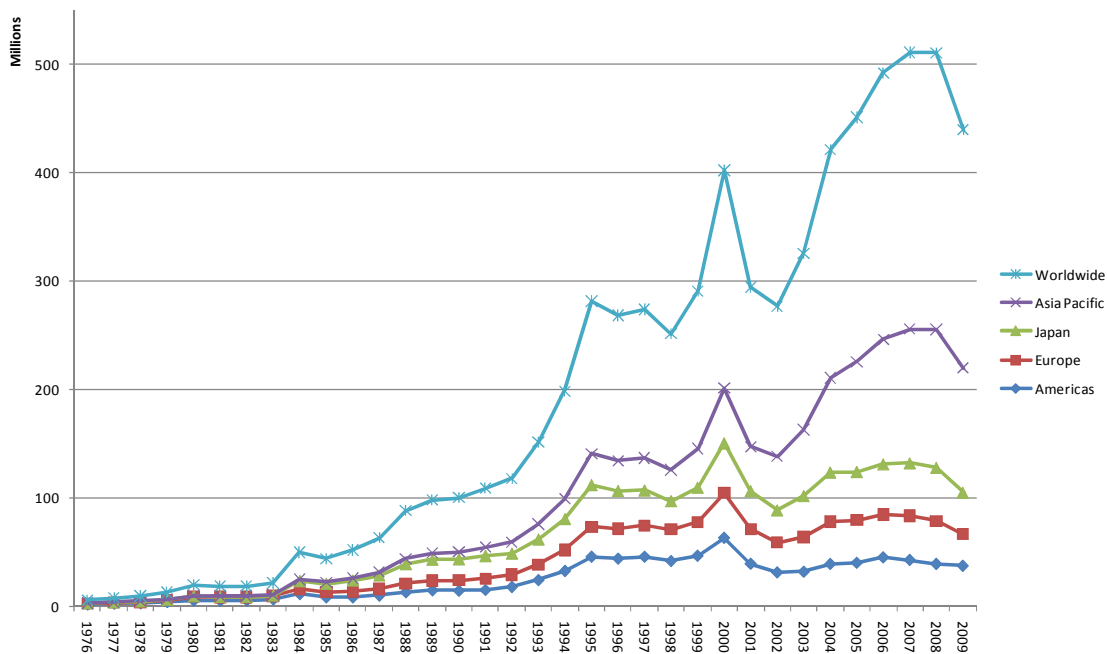


Figure 1.1 : Evolution du marché des semi-conducteurs (1976 – 2010) (source : SIA<sup>1</sup>)

<sup>1</sup> Semi-conductor Industry Association. Les tables de données sont téléchargeables sur : <http://www.sia-online.org/>

### 2.1.2 Une modularisation du secteur industriel au cours des 40 dernières années

Depuis les années soixante-dix, la croissance économique de ce secteur industriel s'est accompagnée d'une transformation profonde de sa chaîne de valeur. En un mot, celle-ci a évolué d'un grand nombre de firmes verticalement intégrées vers une multitude de firmes aux rôles distincts et très spécialisés, c'est un phénomène lié à la modularisation de l'industrie que l'on retrouve aussi par exemple dans l'industrie des ordinateurs (Baldwin 2007). A partir des années 90, la complexité croissante des procédés utilisés pour réaliser des circuits intégrés a conduit à une augmentation très forte des investissements requis pour réaliser une usine de production. Cette tendance a conduit à la fragmentation de la chaîne de valeur industrielle et l'apparition de nouveaux acteurs à différencier des compagnies appelées IDM (Integrated Device Manufacturer) qui réalisent la fabrication de leurs circuits en interne. Ces entreprises spécialisées se sont imposées comme des firmes indépendantes ou des divisions issues des firmes intégrées verticalement, ce que l'on peut illustrer d'après la figure ci-dessous :

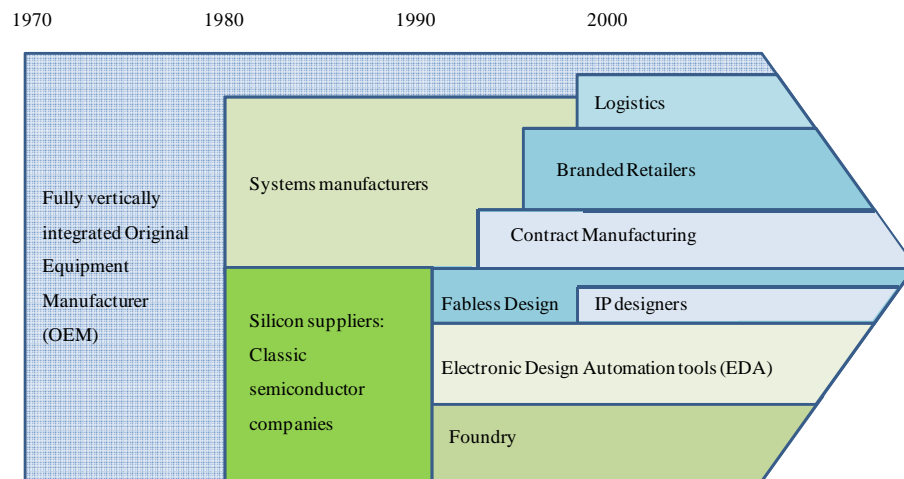


Figure 1.2 : Evolution des différenciations et spécialisations dans la chaîne de valeur de l'industrie semi-conducteurs (Bozotti and Bühner 2005)

Cette stratification du paysage industriel a ouvert la voie à de nouvelles approches, notamment les fondeurs (ou « foundry ») qui réalisent uniquement la production de circuits intégrés et par opposition les firmes « fabless » ne réalisant que la conception et la définition des circuits intégrés. Les premières réalisent la production de circuits pour d'autres firmes, profitant d'économies d'échelles pour des firmes qui n'ont pas les moyens ou ne veulent pas réaliser des investissements dans des usines de production. Les secondes se concentrent sur la conception et la commercialisation de systèmes complets en externalisant l'ensemble de leur production. Au même moment, la complexité croissante des circuits intégrés a permis l'émergence de nouveaux acteurs fournissant des outils de conception (logiciels) et de robotisation pour les processus de conception et de fabrication. En bref, nous pouvons souligner que le paysage industriel représente un mélange complexe de différents modèles d'affaires (« business models ») avec toutes les variantes possibles. L'industrie est donc passée d'un modèle où les firmes étaient « verticalement intégrées » à un modèle fragmenté. La présentation de ce panorama suggère une première



question : y a-t-il des éléments caractéristiques des activités de conception et de recherche qui permettraient d'expliquer cette croissance soutenue ?

### 2.1.3 Une croissance par la science et la technologie intensives

#### 2.1.3.1 Une industrie où l'effort de R&D est particulièrement intensif

Comme nous l'avons vu précédemment, l'industrie des semi-conducteurs est une des industries les plus innovantes. De plus les travaux de recherche dans cette industrie sont très intenses et ont fortement contribué aux progrès de la science. De nombreux scientifiques de l'IBM Watson Laboratories et AT&T Bell Lab. sont reconnus pour la qualité de leur contribution scientifique, certain d'entre eux ont notamment reçu des prix Nobel<sup>2</sup>.

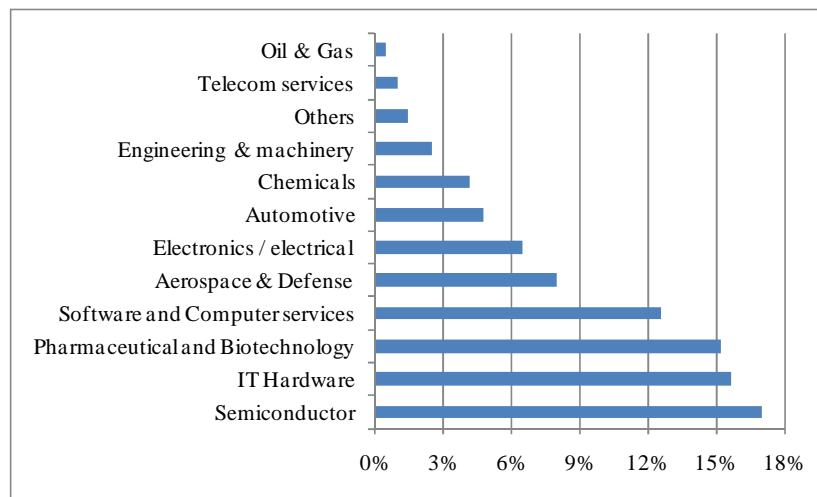


Figure 1.3 : Investissement R&D par secteur industriel (exprimé en % du CA<sup>3</sup>) (Bozotti and Bühner 2005)

Ce résultat est notamment le fruit d'investissements importants en R&D, de l'ordre de 15% du chiffre d'affaire, ce qui en fait une des industries où les investissements en R&D sont les plus importants (cf. Figure 1.3).

#### 2.1.3.2 Une industrie basée sur la création d'un capital intellectuel

La compétitivité se construit aussi sur une prise de position par rapport à l'IP (Propriété Industrielle). A cet effort de recherche intensive correspond un effort de propriété industrielle qui supporte le renouvellement régulier des produits. Les investissements nécessaires au développement de chaque technologie imposent un degré de protection élevé. Ce nombre de plus en plus important de demandes fait de l'industrie des semi-conducteurs une des premières industries en terme de dépôt de brevets déposés auprès des différents offices (OEB, USPTO,

<sup>2</sup> Les plus proches de nous étant Albert Fert et Peter Grünberg prix Nobel 2007 de physique pour leurs travaux sur la magnéto-résistance géante (GMR) puis Willard Sterling Boyle et George Elwood Smith prix Nobel de physique 2009 pour l'invention du capteur d'image CCD

<sup>3</sup> CA : Chiffre d'Affaires

WIPO, etc.). Ce phénomène révèle aussi le gain compétitif que peut représenter la propriété industrielle au sens où les brevets deviennent des moyens de négociation (« bargaining chips ») qui permettent aux différents acteurs d'éviter d'être exclus de certains champs technologiques, pour obtenir plus favorablement des accords de licence et éviter les litiges.

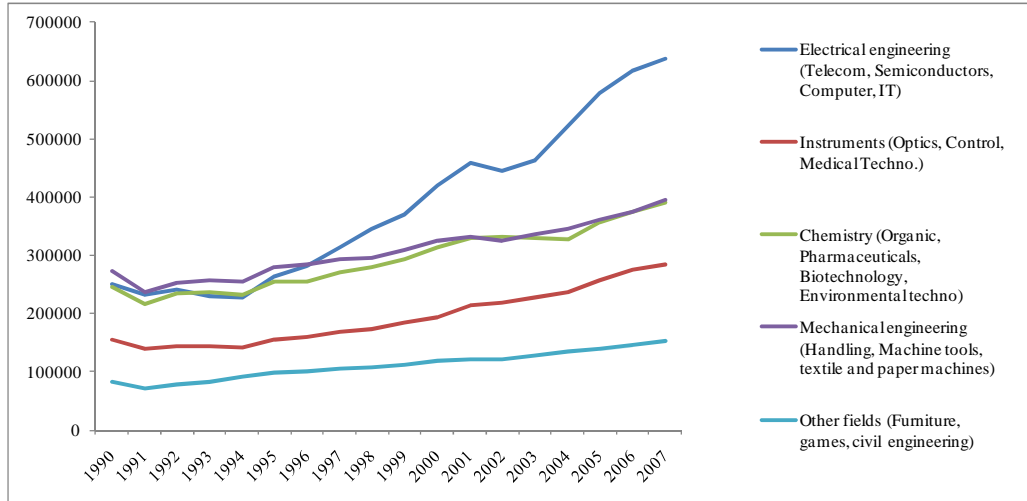


Figure 1.4: Patent applications by field of technology (1990 – 2007)  
(WIPO and Economics & Statistics Division 2010)

Les brevets sont un des points critiques de l'appropriation et la protection de résultats de recherche, la protection par le brevet a un effet positif mais relativement faible sur les investissements en R&D dans ce secteur, de plus la propension à breveter a à peu près doublé entre 1982 et 1992 (Hall and Ziedonis 2001). Enfin, comme nous l'avons vu précédemment les usages liés aux brevets sont multiples puisque les firmes en déposent à la fois pour « bloquer les concurrents » et « négocier des accords de licence » (Cohen, Nelson and Walsh 2000). Encore une fois, l'importance des activités de recherche fait que le secteur est particulièrement intensif en quantité de dépôts de brevets.

### 2.1.3.3 Des partenariats de R&D étendus et de larges réseaux

Enfin, la R&D s'appuie sur le développement de coopérations dites 'pré-compétitives' entre acteurs. Que ce soit sous la forme de consortia temporaires, d'alliances sur des projets, ces partenariats ont pour principal objectif de partager des coûts de développement, des risques, de réaliser des économies d'échelles et de diminuer le « time-to-market » (temps de mise à disposition de produits sur le marché). Tout partenariat comporte des avantages stratégiques comme par exemple, la possibilité de construire des réseaux de recherche robustes rassemblant les meilleurs chercheurs de chaque discipline et permettent de procéder à des standardisations.

L'article du journal Le Monde publié le 13 Avril 2002 et intitulé « Motorola rejoint STMicroelectronics et Philips dans les nanotechnologies en France » souligne cette dynamique de regroupement de la R&D de différents acteurs dans l'industrie (Jakubyszyn and Cabret 2002) :

Trois des principaux fabricants mondiaux de composants électroniques, le franco-italien ST Microelectronics, le néerlandais Philips et l'américain Motorola vont investir 1,4 milliard de dollars (1,59 milliard d'euros) d'ici 2005 et créer 1 200 emplois en France dans le cadre d'une alliance majeure dans le domaine de la recherche et développement (R & D) et de l'industrialisation de puces électroniques. Le programme de développement commun sera basé à Crolles (Isère), en France, dans le nouveau centre de recherche et développement baptisé « Crolles 2 », enrichi des opérations de R & D existantes de chaque société et laboratoire.

En rejoignant Philips et STMicroelectronics dans ce projet consacré aux tranches de silicium de 300 mm, Motorola accroît « significativement la portée de l'alliance existante grâce à l'extension de l'accord annoncé » en mars par Philips, ST et le taïwanais TSMC pour développer conjointement des semi-conducteurs de nouvelle génération (Le Monde du 8 mars). Cet accord qui était uniquement technologique se transforme en un véritable partenariat industriel. Motorola, Philips et STMicroelectronics seront « des partenaires technologiques égaux » dans l'alliance en termes d'investissement, de dépenses en R & D et de nombre de lots et de production. «davantage intelligent » « Les ressources combinées des quatre sociétés seront consacrées au développement des générations futures de la technologie CMOS, pour passer de 90 à 32 nanomètres au cours des cinq prochaines années. Des tailles de géométrie de circuit si réduites permettront aux partenaires de continuer de répondre à la demande de leurs clients en intégrant davantage d'intelligence sur des formats plus réduits », ont souligné les signataires du protocole d'accord annoncé vendredi 12 avril ... Au total, 1,5 milliard de dollars ont été injectés au fil des extensions successives du site de Crolles 1. L'accord annoncé fait de Crolles 2 un ensemble industriel aussi important. Si le producteur franco-italien a pu prendre une avance significative dans la maîtrise des technologies de production, il le doit à sa coopération avec les laboratoires voisins du Léti/CEA (laboratoire d'Electronique, de Technologie et d'Instrumentation) et du centre national de recherche de France Télécom R&D.

#### **Christophe Jakubyszyn et Nicole Cabret**

Ainsi, les activités de R&D sont maillées par des réseaux de partenariats qui permettent à la fois de distribuer les champs de recherche mais aussi de diminuer l'impact des investissements en activité de recherche. L'intensité des réseaux de collaboration au-delà des collaborations inter-entreprises transparait aussi à travers de réseaux fortement structurés et organisés à différents niveaux géographiques (SNRI 2009). Au niveau européen on retrouve des plateformes technologiques (comme ENIAC pour les composants ou ARTEMIS pour les systèmes embarqués) et des programmes EUREKA (CATRENE, CELTIC), au niveau français, des programmes dédiés de l'ANR (Agence Nationale pour la Recherche avec les programmes P3N, VERSO), des pôles de compétitivité (MINALOGIC, SYSTEM@TIC, SCS) et la mise en place de « laboratoire communs » entre des entreprises et différents laboratoires académiques (comme l'IEMN à Lille ou l'IMS à Bordeaux) reconnus pour la qualité de leurs travaux scientifiques dans certains domaines de pointe. L'ensemble de ces partenariats permettent aux firmes de structurer les travaux de recherche autour de thématiques émergentes. Par conséquent, les différents éléments présentés précédemment, à savoir les investissements en R&D, le fort dépôt de brevet, les réseaux de collaboration en recherche expliquent la performance économique de ce secteur.

Nous avons vu à travers ce premier panorama que le modèle de gestion des activités de recherche est particulièrement intensif que ce soit sur le front de la taille (des ressources allouées), des réseaux mis en place et des brevets déposés. Néanmoins on pourrait se demander comment sont structurés les efforts de recherche ? Ceux-ci sont-ils menés de manière désordonnée sur tous les fronts ? En fait, ce qui explique l'efficacité de ces activités, c'est l'existence d'une activité au niveau industriel d'orientation et de pilotage de la recherche qui s'appuie sur des formes de coordination très fortes. **Dans ce modèle de gestion des activités de recherche, la croissance a principalement été tirée par des éléments structurants que sont la 'Loi de Moore', les technologies induites par cette loi et les modes d'organisation associés. Nous présenterons l'impact de ces différents éléments par la suite.**

## 2.1.4 Une organisation liée à cette dynamique : Loi de Moore et Roadmap

### 2.1.4.1 La loi de Moore : 40 ans de croissance pour l'industrie

L'intensité du rythme de renouvellement des produits et technologies proposée par cette industrie n'est pas le fruit du hasard, elle est le résultat d'une organisation mise en place autour de la fameuse « loi de Moore ». Cette « loi » formulée par un des fondateurs d'Intel — Gordon Moore —, est fondée au départ sur un constat empirique sur les cinq premières générations de transistors CMOS<sup>4</sup>. Elle postule, à l'origine en 1965, le doublement annuel de la densité d'intégration, c'est-à-dire le nombre de transistors par circuit intégré, ce qu'il formula de la manière suivante :

*"The complexity for minimum components costs has increased at a rate of roughly a factor of two per year. Certainly over the short term this rate can be expected to continue, if not to increase. Over the long term, the rate of increase is a bit more uncertain, although there is no reason to believe it will not remain nearly constant for at least 10 years. That means by 1975, the number of components per integrated circuit for minimal cost will be 65,000. "*

Ainsi, la loi de Moore rend compte du modèle de croissance de cette industrie où la réduction des dimensions des dispositifs permet à la fois d'améliorer les performances des circuits avec de nouvelles fonctionnalités, mais aussi de réduire le coût unitaire<sup>5</sup> de production d'une fonction (en augmentant la productivité des usines ce qui permet de démocratiser l'utilisation de dispositifs électroniques).

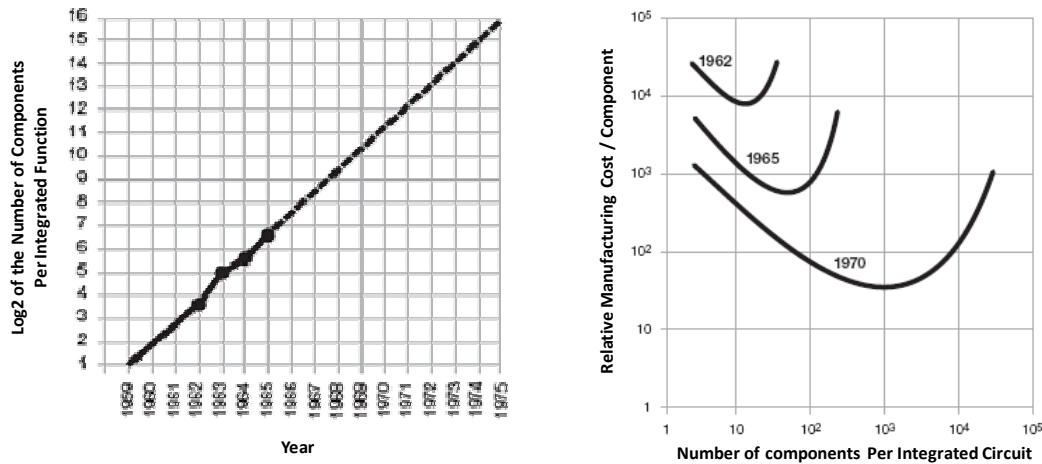


Figure 1.5 : la loi de Moore et son interprétation économique. (Moore 1965)

Cette estimation a été revue en 1975, le doublement aurait lieu tous les dix-huit mois, puis quelques années plus tard à un doublement tous les deux ans, ce qui correspond tout de même à un rythme très important de renouvellement de technologies et d'introduction de nouvelles

<sup>4</sup> CMOS : Complementary Metal Oxyde Semiconductor (qualifie les transistors et les technologies utilisées dans les semiconducteurs).

<sup>5</sup> Ainsi, des années 70 à nos jours, le coût de production d'un Mégabit de mémoire à été divisé par 1 000 000 !

générations de transistors. Le développement de chaque génération de transistor, appelée aussi « nœud technologique », n'est possible que grâce à des ruptures technologiques qui sont planifiées et préparées. Les prouesses technologiques exigées pour poursuivre cette loi font qu'aujourd'hui, dans les composants avancés, les transistors se répètent tous les cinquante nanomètres<sup>6</sup>. **La performance économique appelle une première question : comment l'exploration de ces alternatives technologiques et de ces ruptures est-elle organisée pour le passage d'un nœud technologique au suivant ?**

***A l'origine de l'efficacité économique, une gamme de technologies définies.***

Une approche à la base de la fabrication des composants et circuits intégrés de l'industrie du semi-conducteur est l'utilisation d'une approche planaire pour construire chacun des transistors individuellement et les interconnecter. Le concept clé a été de voir un circuit dans sa projection plan (bi-dimensionnelle), procédé développé par Jean Hoerni (Hoerni 1959) un des huit «Fairchildren»<sup>7</sup> alors qu'il travaillait chez 'Fairchild Semiconductor'. L'approche planaire à l'origine a été adoptée pour des questions de rendement de production du fait d'effets de contamination (Riordan 2007), ce que Gordon Moore expliquait de la manière suivante « *we make more transistors per year than the number of printed characters in all the newspapers, magazines, books, photocopies and computer printouts,...., and we sell these transistors for less than the cost of a character in the Sunday New York Times* ». Ainsi, la performance économique des activités de production sont associées à des règles de conception employant une gamme de procédés bien définis basés sur des technologies planaires sur lesquelles repose la filière CMOS<sup>8</sup>.

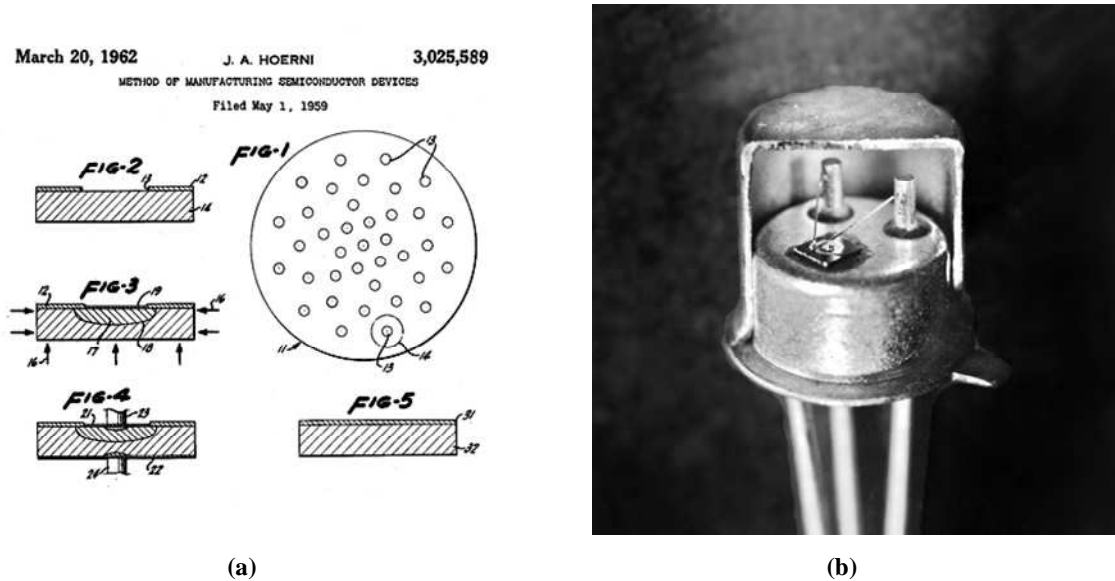


Figure 1.6 : (a)- le brevet déposé par Hoerni concernant les procédés de fabrication planaires / (b)- Vue en coupe d'un des premiers transistors planaires (source : Fairchild)

<sup>6</sup> Sachant qu' 1 nm est 30 000 fois plus fin que l'épaisseur d'un cheveu et 100 fois plus petit que la molécule d'ADN !

<sup>7</sup> Désigne les chercheurs qui quittèrent Fairchild Semiconductor alors dirigée par Shockley (un des inventeurs du transistor) pour former différentes spin-offs dans l'industrie du semi-conducteur avec plus ou moins de réussite, les plus brillants étant Noyce et Moore qui fondèrent Intel en 1968 (les sept autres étant : Julius Blank, Victor Grinich, Jean Hoerni, Eugene Kleiner, Jay Last, Gordon Moore, Robert Noyce et Sheldon Roberts).

<sup>8</sup> CMOS : filière standard à base de transistors Complementary-Métal-Oxide-Semiconducteur

Ainsi, pour réaliser et atteindre la performance, les gammes de technologies sont définies, mais il y a aussi une division du travail particulière. Effectivement, comme annoncé par la loi de Moore, la densité des transistors a doublé tous les dix-huit mois puis tous les deux ans, ce qui au fur et à mesure des générations technologiques a énormément complexifié la conception des circuits intégrés. Pour cette raison, Carver Mead et Lynn Conway (Mead and Conway 1979) proposèrent une séparation entre les activités de 'design' (qui ont pour rôle de définir les composantes (x, y) du circuit intégré, c'est-à-dire les interconnexions entre les différents transistors et les fonctions réalisables) et 'technology' (qui définissent les composantes z du circuit intégré). Ainsi on a une répartition des activités de conception en deux métiers avec d'une part, les « technologues » qui sont chargés de fabriquer des transistors plus petits et plus rapides, et d'autre part, des « designers » dont le savoir-faire permet de coordonner le comportement des millions de transistors d'un circuit intégré. Le découplage entre deux activités a permis de construire circuits intégrés performants et robustes au fur et à mesure des différentes générations technologiques.

#### *2.1.4.2 Le rôle des Roadmap et des consortia : exemple de l'ITRS*

Créé en 1999, l'ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductor) est le consortium qui regroupe l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur de l'industrie des semi-conducteurs. Cette organisation est sponsorisée par différentes associations des principales régions géographiques de l'industrie (Etats-Unis, Europe, Asie) comme la SIA (Semiconductor Industry Association), l'ESIA (European Semiconductor Industry Association), le JEITA (Japan Electronics & Information Technology Industries Association), le KSIA (Korean Semiconductor Industry Association), le TSIA (Taiwan Semiconductor Industry Association).

L'ITRS apporte un ensemble clair d'objectifs communs pour l'ensemble de l'industrie, ce qui facilite la coordination et les coopérations entre différents acteurs, consortia et organismes de recherche pour apporter des solutions aux nouveaux enjeux de cette industrie (Schaller 2004). Elle propose des feuilles de route (ou "roadmaps") permettant une coordination entre les activités et les ressources dans des contextes incertains (Schaller 2001) pour les différentes technologies utilisées dans l'industrie (cf. Figure 1.7). Elles sont utilisées pour formaliser des stratégies technologiques, établir des plannings de réalisation, et définir la mise à disponibilité de moyens robustes et avancés de fabrication qui constituent un des moteurs de cette évolution.

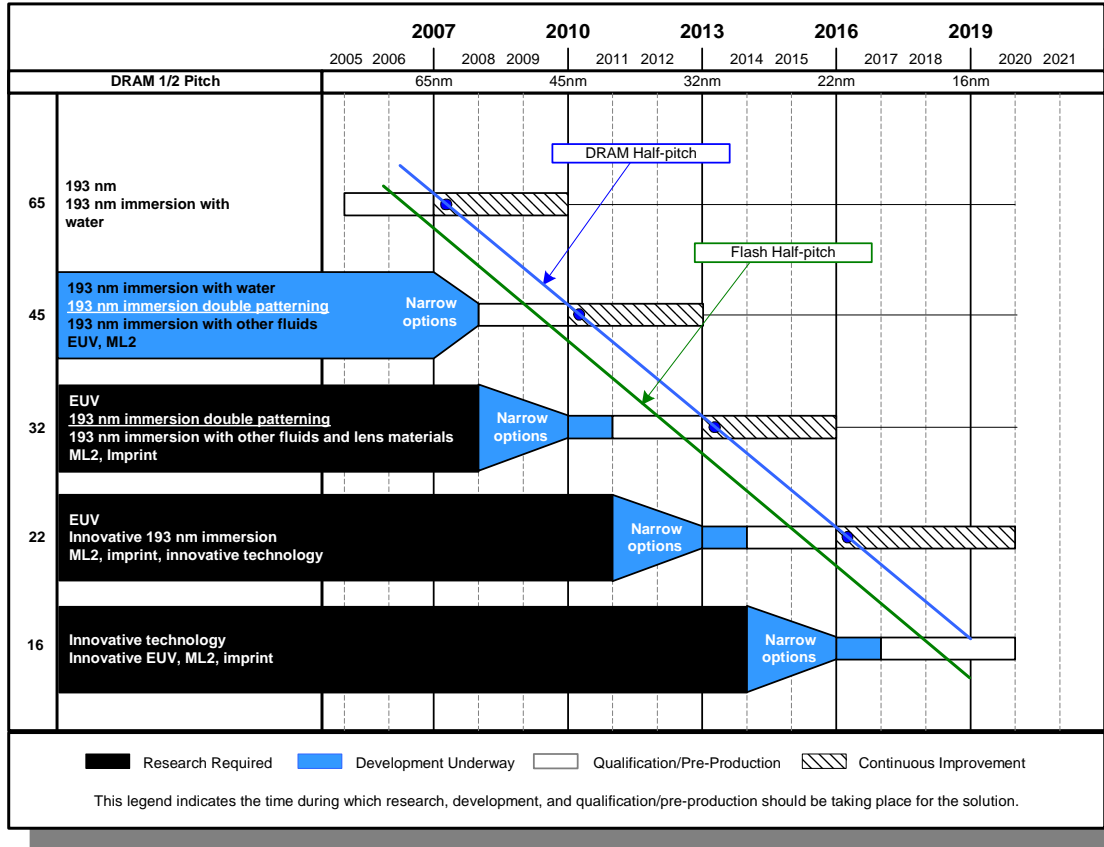


Figure 1.7 : Roadmap technologies de photo-lithographie (source : ITRS, 2005)

Cette organisation a donc un rôle à la fois prescriptif et normatif (Cogez, Le Masson and Weil 2010) par rapport aux technologies à adopter sur le court, moyen et long terme. L'un des aspects surprenants est que ces « Roadmaps » partagées entre plusieurs acteurs incluent des approches en rupture où la recherche se joue activement sur la miniaturisation. Cette approche plus communément appelée « More Moore » (où selon la formule consacrée « there is plenty of room at the bottom »<sup>9</sup>) vise à poursuivre et entretenir la loi de Moore. Elle concerne les technologies de fabrication des circuits intégrés CMOS (matériaux, lithographie, interconnexions) ainsi que l'intégration dans des systèmes de plus en plus complexes.

### 2.1.5 Une gestion exemplaire de la R&D pour l'évaluation de la recherche.

Ainsi, pour résumer, l'industrie des semi-conducteurs est très intensive en R&D, elle est à la base de la création et la diffusion d'innovations dans de nombreux secteurs industriels de manière intensive dans un contexte de chrono-compétition (Brown and Eisenhardt 1997) où les marchés sont fortement cycliques et à forte croissance. Ainsi, un des enjeux auxquels sont confrontées les entreprises de ce secteur industriel est la résolution d'une équation économique difficile du fait de l'érosion des marges et de l'augmentation des coûts de fabrication et des investissements liés au développement de différentes technologies. La résolution de cette équation tient à la mise en place

<sup>9</sup> Expression prononcée par Richard Feynman (co-lauréat du prix nobel de physique en 1965) qui participa au projet Manhattan et décrivait en 1959 les nanosciences comme un des principaux enjeux de notre siècle.

d'un équilibre fragile regroupant différents principes à la base de la rationalisation des efforts de recherche, ce qui induit de fortes contraintes sur l'efficacité de la recherche.

Les premiers éléments de réponse qui permettent de décrire la gestion de cette efficacité sont déclinables en trois volets. Tout d'abord, c'est la mise en place de vastes réseaux d'acteurs. Ceci permet notamment de partager des coûts de développement avec des effets leviers importants, d'animer un éco-système de production de connaissances et de faciliter l'accès à des connaissances par la structuration de différentes communautés scientifiques. L'industrie des semi-conducteurs est d'ailleurs l'industrie qui a été à la base de la définition de notion d'« Absorptive Capacity » (Tilton 1971). C'est ensuite une industrie où la recherche joue un rôle prépondérant vis-à-vis du transfert de connaissances rapide et efficace pour la préparation des générations futures de produits (Weber 2003) (Weber and Hippel 2001) (pour assurer des montées en cadence de projets rapides). C'est enfin une industrie où la recherche joue un rôle prépondérant vis-à-vis de la proposition d'une protection de la propriété intellectuelle adéquate. Nous sommes donc en présence d'un modèle de référence où les litiges brevets sont fréquents (Hall and Ziedonis 2007), Au-delà de ces trois dimensions, c'est la structuration des champs de recherche par des modes de coordination relativement forts (ITRS et « Roadmap ») qui permet de piloter et d'évaluer la recherche selon des critères de performance prédéfinis (convergence vers la Loi de Moore). Par conséquent, l'efficacité des activités de R&D est organisée de manière précise et le branchement de la recherche à l'innovation est particulièrement remarquable (c'est une industrie qui a su rationaliser l'utilisation de la recherche au service de l'efficacité industrielle)<sup>10</sup>.

En conclusion, nous sommes donc immergés dans un milieu industriel qui répond à ce que nous pourrions caractériser comme étant les « canons de beauté » de la gestion de la R&D et des activités de recherche : un milieu intense en recherche fondamentale, intense en recherche appliquée, une coordination soutenue des explorations technologiques. Cet état de fait soulève plusieurs questions : Pourquoi cette question industrielle sur l'évaluation de la recherche, alors que celle-ci semble très performante ? Quels sont les attributs qui font les particularités de cette « recherche avancée » ?

---

<sup>10</sup> En effet, si l'on cherche à croiser loi de Moore avec l'évolution des effectifs de R&D (on n'a pas de croissance exponentielle des effectifs ce qui suggère que l'efficacité est énorme !!).



## 2.2 LES LIMITES DU MODELE : VERS UN ESSOUFFLEMENT DE LA DYNAMIQUE ?

### 2.2.1 Des efforts accrus de R&D pour maintenir la loi de Moore

La dynamique qui a permis à l'industrie des semi-conducteurs d'atteindre un taux de croissance soutenu et durable rencontre des défis à la fois technologiques et économiques. Ainsi, la miniaturisation géométrique des transistors à travers la lithographie exige de véritables prouesses techniques. En outre, au fur et à mesure que la taille des transistors se rapproche de l'échelle quantique, de nouvelles difficultés apparaissent qui limitent la performance des circuits intégrés. Les principaux obstacles techniques apparus sont liés à la dissipation thermique; à la sensibilité des transistors aux variations des procédés de fabrication; à la perturbation des performances des transistors en raison de la complexité des architectures. Plus encore c'est l'évolution des investissements de R&D pour suivre le rythme de succession des différentes générations qui deviennent prohibitifs, où rentabiliser une usine de fabrication pour des nœuds avancés relève donc de l'exploit (en effet, la figure 1.8 montre qu'entre 2008 et 2015 les niveaux d'investissements auront doublé).

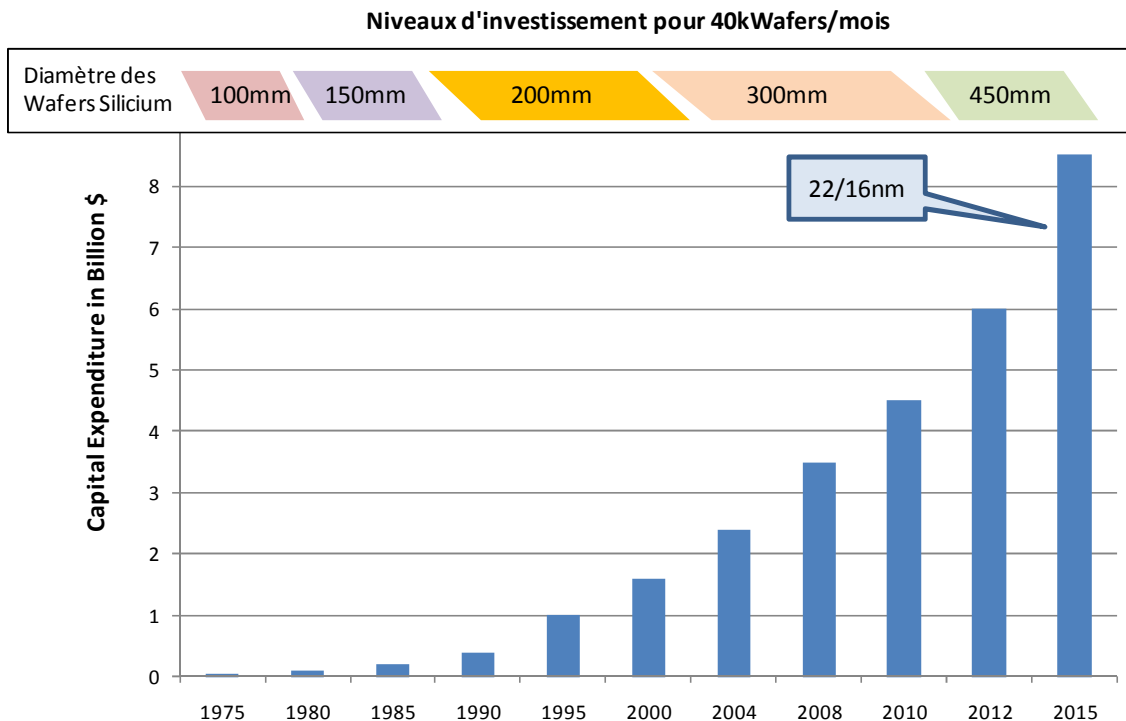


Figure 1.8 : Evolution des investissements en fonction du nœud technologique (Malier 2009)

### 2.2.2 Une diminution des revenus générés par nœud technologique

Parallèlement à l'augmentation des efforts de R&D, on remarque que la transition entre différentes générations technologiques entraîne deux effets. Le premier est une diminution du pic de revenus générés par un nœud technologique donné, et un allongement dans le temps de ces revenus, ce que l'on peut illustrer par la figure ci-dessous qui représente les cycles de vie associés à chaque nœud technologique.

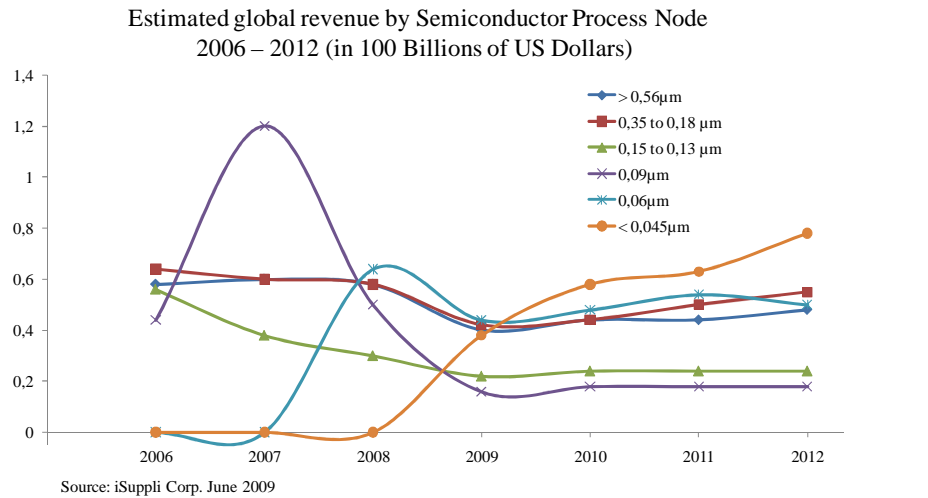


Figure 1.9 : Evolution des revenus générés par chaque nœud de la loi de Moore (Jelinek 2009)

Le second est l'augmentation des investissements liés aux équipements, dont l'impact est d'autant plus important que leur amortissement n'est réalisé que sur quelques générations (ce qui définit les limites de la miniaturisation pour des nœuds technologiques de l'ordre de 18 à 20 nm).

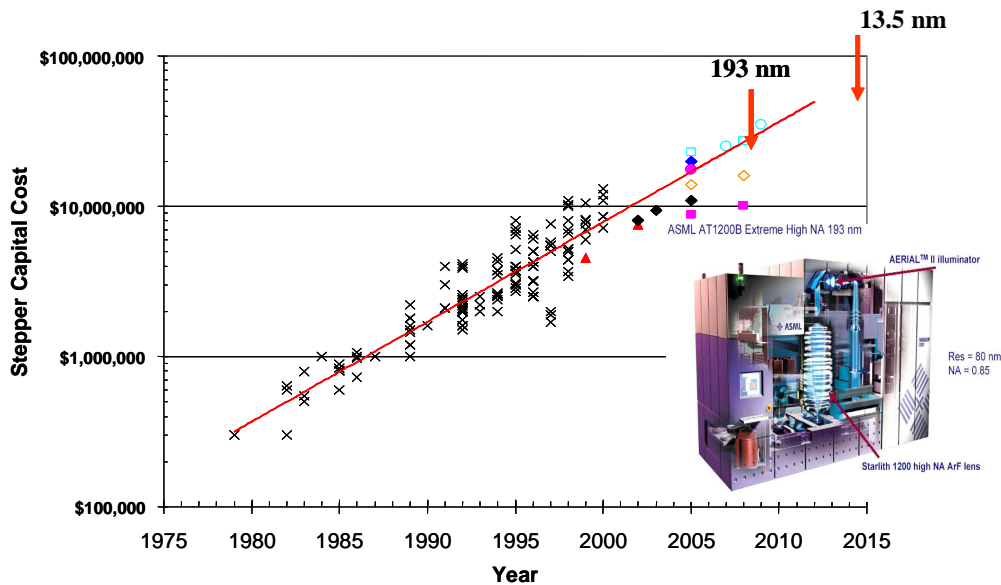


Figure 1.10 : Une évolution exponentielle des coûts d'équipements pour les étapes de photolithographie.

Cet état de fait est souligné par plusieurs analystes "At those nodes [18-20nm], the industry will start getting to the point where semiconductor manufacturing tools are too expensive to depreciate with volume production, i.e., their costs will be so high, that the value of their lifetime productivity can never justify it". (Jelinek 2009). Au-delà des investissements à concéder pour les nœuds technologiques avancés qui sont de plus en plus élevés, il faut aussi tenir compte des coûts de conception de circuits intégrés qui sont d'autant plus importants que le nœud technologique est avancé.

L'illustration ci-dessus (cf. Figure 1.10) montre l'évolution des investissements liés aux équipements de photolithographie pour les différents nœuds technologiques. On peut remarquer qu'en vingt ans, ce coût a été multiplié par 100, ce qui exige d'obtenir des gains de productivité importants pour rentabiliser leur utilisation. Associés à ces investissements en équipements, il y a aussi des changements technologiques (qui peuvent apparaître radicaux, dus à l'introduction et la qualification de nouveaux matériaux) : ainsi pour les niveaux d'interconnexions des circuits intégrés, le passage de l'Aluminium au Cuivre a nécessité la révision complète des procédés de superposition des couches, la mise en place d'équipement et de zones en salle blanche dédiés, le cuivre étant un contaminant métallique (en effet, pour résumer, on ne sait pas graver le cuivre mais on le fait croître à partir d'une couche d'accroche et un procédé de dépôt électrochimique, ceci a amené à inverser l'ordre des étapes pour réaliser un circuit intégré et à introduire un procédé dit « damascène »<sup>11</sup>).

### 2.2.3 L'approche « More than Moore » comme renouvellement de la dynamique ?

Nous avons précédemment décrit qu'un des éléments qui fait la base de l'efficacité économique de cette industrie est la loi de Moore. Cette loi connaît des limites à la fois physiques et économiques qui ont amené différents acteurs de l'industrie à explorer de nouveaux espaces de valeur. Un de ces espaces est la diversification fonctionnelle — communément appelée « More than Moore » — qui comprend la conception et l'intégration de systèmes hétérogènes complexes sur puce. On y retrouve différents types d'application comme la récupération et le stockage d'énergie pour les objets « intelligents », les communications à faible puissance, ainsi que des nano-composants électromécaniques (MEMS et NEMS<sup>12</sup>). S'y ajoutent la photonique, l'optoélectronique et la micro-fluidique.

Ainsi, l'ITRS adresse deux tendances qui caractérisent l'industrie des semi-conducteurs, même si d'autres dimensions font également l'objet de larges explorations et d'activités de recherche comme le « Beyond CMOS » (ou électronique du futur qui traite des dispositifs qui succéderont aux composants actuels CMOS), les technologies complémentaires (comme le photovoltaïque, l'électronique sur support souple, les nouveaux dispositifs d'affichage à base d'électronique organique) et la gestion des interfaces et interactions Hardware / Software (matériel – logiciel). Cependant, contrairement à l'approche « More Moore » – basée sur la réduction des dimensions des transistors –, il n'y a ni d'équivalent de loi de « Moore », ni d'ITRS qui permette d'organiser l'éco-système, ou de « Roadmap » qui structure l'exploration de ce nouvel espace.

On notera néanmoins que l'ITRS identifie le besoin de structurer ce nouvel espace « More than Moore » dès 2007 (International-Roadmap-Committee 2007) ce qui est signifié dans le document final « Executive Summary ». Les premiers travaux liés à ce domaine font l'objet d'un « White paper » qui, dans sa première édition fait mention de la nécessité de définir des méthodologies pour identifier les « figures de mérite » relatives à chacun des domaines de cette approche (Arden, Brillouët, Copez et al. 2010).

---

<sup>11</sup> Ce nom est dérivé du nom de Damas, ville où le travail de damasquinage est développé dès le XIV<sup>ème</sup> siècle comme une technique délicate d'incrustation et polissage de petits filets de cuivre, or ou d'argent dans un objet en métal.

<sup>12</sup> Micro ou Nano-Electro Mechanical System

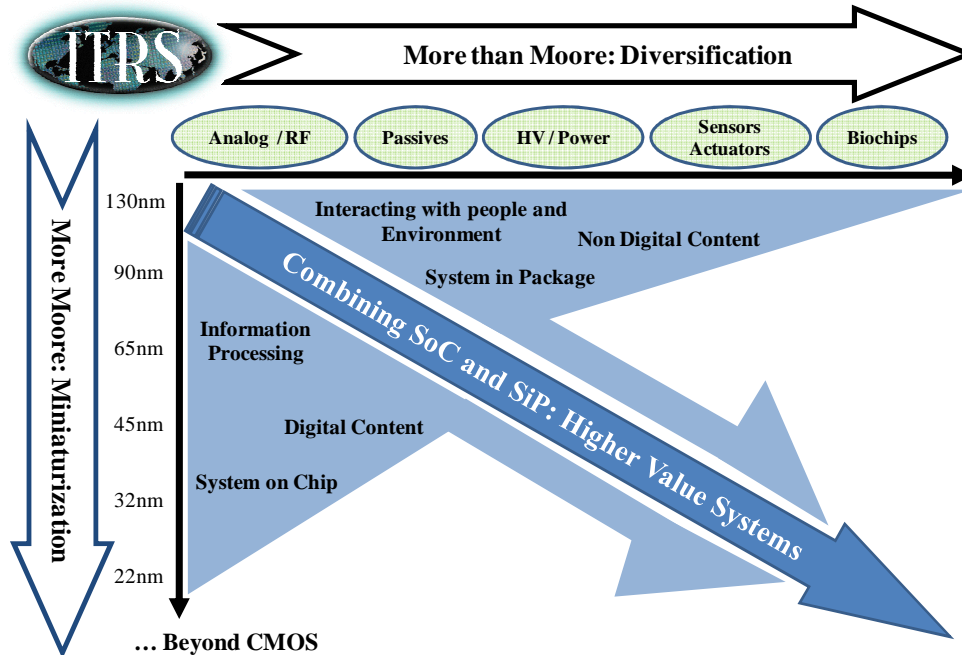


Figure 1.11: "More Moore" et "More than Moore" (source: ITRS, 2005)

### 2.3 L'INNOVATION DE RUPTURE : LES NOUVEAUX ENJEUX DE LA RUPTURE

Nous notons donc que même si l'industrie a su s'organiser pour assurer des taux de croissance historiques sur une longue durée, comme nous l'avons vu il y a de nouveaux espaces de valeur à explorer, notamment sur les thématiques « More than Moore ». C'est précisément à ces nouveaux espaces que nous allons nous intéresser au cours de nos travaux de recherche. Alors que le modèle classique de la recherche rencontre ses limites (du fait notamment de l'essoufflement de la loi de Moore et de l'explosion des coûts de R&D associés), un des nouveaux enjeux pour la recherche avancée est donc d'explorer de nouveaux espaces de valeur et se positionner par rapport à des approches en rupture. Alors qu'il n'y a pas encore de structuration d'éco-système associé à l'exploration de ces nouveaux espaces (ou d'équivalent de l'ITRS), ni de 'loi' d'évolution définie (d'équivalent de la 'Loi de Moore' pour le 'More than Moore'), cet état de fait suggère quelques premières énigmes : quelle forme prend la recherche avancée (à quel type d'organisation est-elle associée) ? Quel est son rôle, son organisation et quels nouveaux espaces de valeur cherche-t-elle à explorer ? Comment structure-t-elle les champs de recherche à adresser (quel est le contenu de ses activités et ses attributs) ?

Pour éclairer sous un premier angle l'ensemble de ces questions, nous nous proposons d'analyser l'historique sous la forme d'une étude longitudinale. Nous reviendrons sur les trajectoires suivies par cette structure en analysant ses évolutions organisationnelles et le contenu de ses activités. Ceci nous permettra d'en définir les principales caractéristiques et préciser la question industrielle qui nous était posée.

### 2.3.1 La R&D Avancée : Evolution de l'organisation et rôle de 2005 à 2010

A notre arrivée sur le terrain industriel en 2007, la partie 'Advanced R&D' de la R&D centrale de STMicroelectronics (ou « recherche avancée ») fait partie d'une entité appelée '*Silicon Technology Development*' qui a pour rôle et objectif de réaliser des plateformes technologiques desquelles sont dérivées différents produits. Celles-ci sont réalisées grâce à l'intégration et au développement de différentes briques technologiques, qui seront mises à disposition pour les usines de fabrication de « wafers »<sup>13</sup> 200mm (Crolles 1) et 300mm (Crolles 2). Ainsi, la recherche avancée est souvent considérée comme la vigie du navire amiral en charge du développement des plateformes technologiques utilisées pour différentes applications (comme les capteurs d'images, la téléphonie mobile, l'automobile ou les appareils électroménagers). Au cours de cette partie nous reviendrons sur l'évolution de cette organisation de 2005 à 2008, nous nous intéresserons à ses missions et attributs et enfin nous détaillerons l'organisation dans laquelle nous avons mené nos travaux de recherche (qui s'appela d'abord « Derivatives & Above-IC » avant de prendre le nom « 3D & Derivatives »).

L'objectif de cette organisation est de gérer et coordonner les programmes de R&D Avancée, pour préparer le développement de technologies hautes-performances en incluant la gestion des partenariats avancés avec le LETI, l'IMEC et d'autres laboratoires institutionnels académiques ou gouvernementaux (Mingam 2005). Plus précisément son rôle tel qu'il est formulé dans différentes notes d'organisation souligne que cette structure "has the task to prepare new solutions ahead of time, to demonstrate their feasibility and drive their maturity up to the point at which they can be selected for process integration within ST fabs". Ainsi, dans un premier temps, nous pouvons en déduire que la « recherche avancée » a pour rôle d'amener à maturité différentes briques technologiques avant de procéder à leur transfert aux équipes de développement et de production.

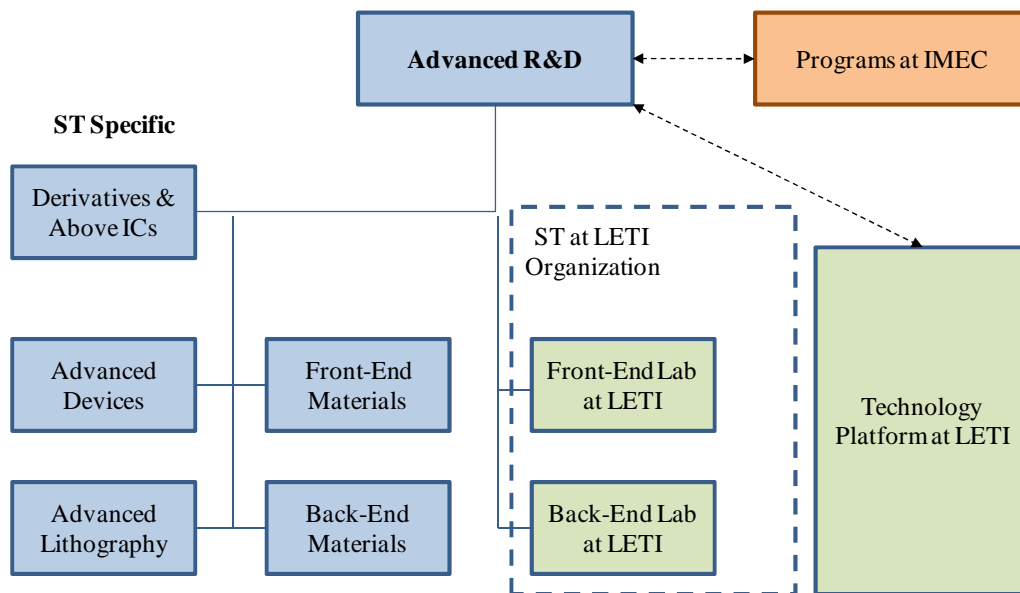


Figure 1.12: L'organisation de la R&D Avancée en 2005

<sup>13</sup> Nom commun des substrats de silicium sur lesquels sont réalisés les circuits intégrés.

Un des premiers éléments frappant qui caractérise cette organisation est l'existence de liens très forts entre la recherche avancée de Crolles et les équipes du laboratoire LETI<sup>14</sup> du CEA<sup>15</sup> qui se traduit à la fois par des programmes de coopération mais aussi par le détachement de personnel de recherche STMicroelectronics au LETI (et réciproquement). Ce que l'on peut remarquer aussi c'est que le LETI dispose aussi d'une plateforme technologique, utilisée par la recherche avancée pour développer et qualifier des nouvelles briques technologiques avant leur 'intégration' et leur transfert. Cette plateforme permet à la fois de réaliser des expérimentations, du prototypage et de préparer le transfert technologique en vue de l'industrialisation de produits ou procédés.

---

<sup>14</sup> Laboratoire d'Electronique et des Technologies de l'Information

<sup>15</sup> Commissariat à l'Energie Atomique

En 2005, la recherche avancée est composée de cinq équipes :

- 1- Les 'Advanced Devices' (ou composants avancés) dont la mission est d'étudier, proposer et qualifier de nouveaux schémas d'intégration pour les transistors avancés (en cohérence avec la loi de Moore). Pour résumer, les innovations introduites sont liées à l'utilisation de nouveaux matériaux (comme les grilles métallique, l'intégration utilisant des SOI<sup>16</sup>), par des manières originales de superposer les différentes couches (comme par exemple le SON<sup>17</sup>) ou en utilisant de nouveaux effets électriques. Cette entité explore donc l'espace de conception lié à l'évolution des différents nœuds technologiques et la réduction des dimensions des transistors.
- 2- Les matériaux avancés (dits 'Front-end') liés à l'intégration des transistors : elle a pour rôle de suivre l'introduction, le développement et la qualification de différents nouveaux matériaux en travaillant à la fois avec le CEA-LETI et l'IMEC<sup>18</sup>.
- 3- Les matériaux pour le « Back-End » ou les différents niveaux d'interconnexions : travaillant essentiellement sur les 'diélectriques' (isolants appelés aussi 'oxydes') à utiliser pour les nœuds avancés et des architectures d'intégration particulières qui permettent d'interconnecter les différents transistors d'un circuit intégré.
- 4- La Lithographie avancée : l'industrie du semi-conducteur est intimement liée au développement de cette technologie puisque celle-ci définit la taille des structures qui seront réalisables sur un masque, les moyens de réaliser les insulations, etc. Le rôle de cette équipe est essentiellement d'explorer de nouvelles alternatives (par exemple le « nano-imprint », la lithographie à immersion, l'extrême UV, l'e-beam) en collaboration avec des laboratoires externes (LETI, IMEC, CNRS).
- 5- L'équipe « Derivatives and Above IC » (qui est une activité spécifique à la firme) : dont l'objectif est de développer des composants hétérogènes en apportant de nouvelles fonctionnalités à l'approche système intégré ou SoC<sup>19</sup>. Ainsi, il s'agit d'explorer l'espace « More than Moore » à la fois de mettre l'accent sur de nouvelles fonctions, de développer et valider des procédés d'intégration en collaboration avec les équipes de design, les équipes du LETI et dans le cadre de projets collaboratifs. Un des aspects sur lequel insiste cette note d'organisation est la construction de collaboration, notamment « The participation to European and national projects together with a large network of external labs brings the complementary expertise & competencies, enabling new ideas & innovation»).

Nous analyserons par la suite l'évolution du type d'activité mis en place et exploré dans cette équipe. Comme son nom l'indique, cette entité a pour but de développer des briques

---

<sup>16</sup> SOI : Silicon on Insulator (Silicium sur Isolant) est un type de substrat spécifique permettant d'améliorer les caractéristiques intrinsèques du Silicium (le principal fabricant de ce type de substrat est Soitec) .

<sup>17</sup> SON : Silicon on Nothing (Silicium sur vide) est un mode d'intégration qui permet d'améliorer le comportement des substrats Silicium.

<sup>18</sup> Interuniversity MicroElectronics Center est un institut de recherche interuniversitaire flamand pour la micro-électronique et les nanotechnologies.

<sup>19</sup> SoC : System on Chip, où plusieurs systèmes sont intégrés sur une même puce

intégrables au-dessus des circuits intégrés. Ce fut au sein de cette organisation que nous avons réalisé nos travaux de recherche.

Si nous relisons cette organisation à travers la superposition classique d'un circuit intégré, chaque entité est dédiée au développement et à l'intégration de chacune des briques constituant un Circuit Intégré, seule l'entité photolithographie est commune à chacun des blocs. Néanmoins, ses activités étant très proche du développement d'équipement, celle-ci sera rattachée aux entités chargées du développement dès 2007.

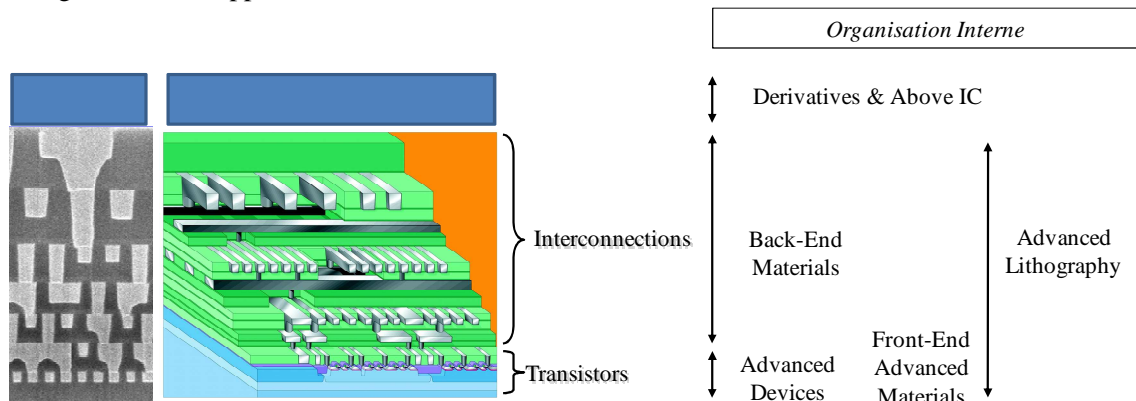


Figure 1.13 : Organisation interne et structure d'un Circuit Intégré.

Ainsi, à partir de 2007, la R&D Avancée est donc composée de quatre équipes puis en 2008, les équipes *Back-end Materials* et « *Derivatives & Above-IC* » fusionnent du fait de l'apparition de la thématique « *3D-Integration* » qui est un domaine émergent sur lequel l'entreprise cherche à se positionner. Cette réorganisation est due au fait que l'intégration 3D mêle des éléments liés au Back-End et Above IC (en effet, dans l'équipe Above-IC une activité est déjà en cours sur l'exploration de ce nouveau champ technologique) et de la structuration d'une organisation liée à cette nouvelle technologie (à la fois des éléments liés aux niveaux d'interconnexions et l'exploration de nouvelles fonctions liées à la troisième dimension)<sup>20</sup>. Ainsi le terme '*Above-IC*' disparaît en 2008 et laisse la place à l' 'intégration-3D' qui est chargée d'explorer tous les modes de co-intégration de différents dispositifs (plus ou moins hétérogènes de nature) et d'introduire dans cette industrie des technologies qui n'étaient alors que peu présentes : celles liées à l'assemblage de différents dispositifs<sup>21</sup>, en introduisant notamment des technologies liées au collage, et à l'amincissement.

Par conséquent il ne restera plus que trois équipes au sein de cette entité jusqu'en Décembre 2008, où le terme de « Module Avancé » disparaît. Chacune des entités est alors répartie dans une entité chargée du développement. A partir de cette date, la dénomination « recherche avancée » désigne plus une fonction qu'une organisation. Néanmoins, malgré ces réorganisations, l'ensemble du périmètre d'activité des concepteurs reste relativement stable.

<sup>20</sup> On se reportera à la monographie « Intégration 3D » pour plus de détails concernant ce champ technologique.

<sup>21</sup> Comme nous l'avons vu précédemment, l'efficacité économique de l'industrie s'appuie sur une gamme de technologies planaires.



Maintenant, que nous avons décrit l'évolution de l'organisation R&D Avancée de 2005 à 2010, revenons plus précisément sur le contenu des projets pour la partie « Derivatives & Above IC » qui deviendra par la suite « 3D and Derivatives ».

### 2.3.2 Activités pour les thématiques « More than Moore » de 2005 à 2010

#### 2.3.2.1 La recherche avancée : une gestion de projets ?

En revenant sur des documents internes de 2003 à 2005, la mission de l'équipe *Above IC* y est décrite comme « Demonstrate and develop Advanced technological blocks in the view of monolithic RF above IC solutions for SoC<sup>22</sup> », ainsi l'objectif de l'équipe est de fournir des solutions intégrables aux circuits intégrés existants en explorant de nouvelles technologies (telles que les MEMS, les éléments passifs) en exploitant de fortes collaborations avec les équipes de conception et les laboratoires de recherche.

De prime abord, nous constatons que la nature des activités menées est hétérogène par la nature des éléments développés et des effets recherchés (domaine de performance), nous avons donc l'impression que le seul lien entre ces différentes activités est le fait qu'elles soient basées sur des technologies planaires communes aux technologies de l'industrie semi-conducteurs tout en apportant une valeur ajoutée aux systèmes conçus.

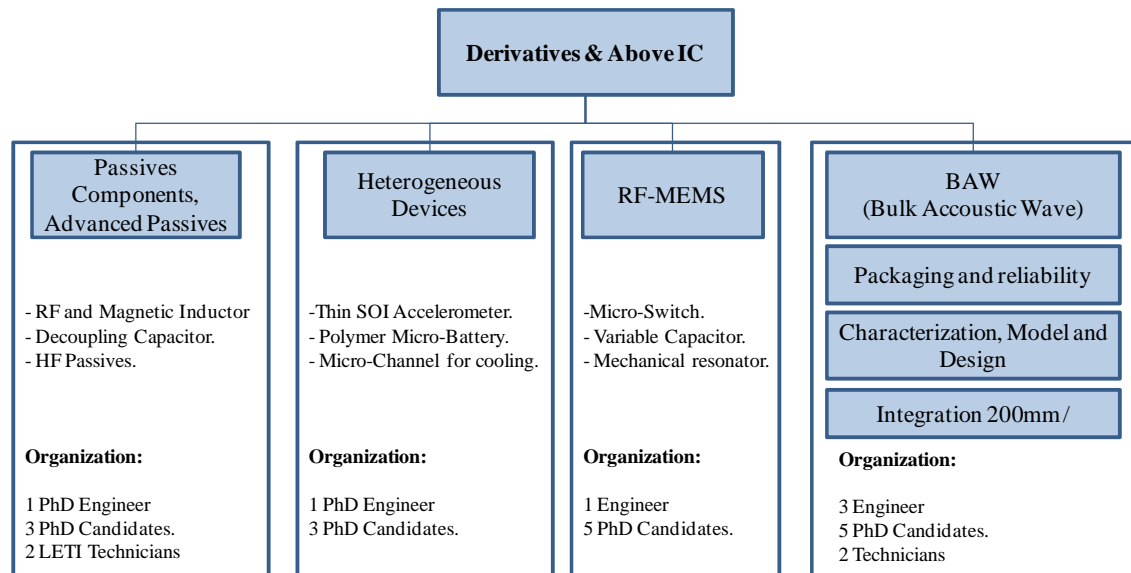


Figure 1.14 : Organigramme et activité « Derivatives & Above-IC » en 2005.

Une des premières questions que nous avons abordée est la définition des activités de recherche avancée. Nous avons rapidement choisi le qualificatif 'activités' au détriment de projet (que nous avons réservé pour les projets collaboratifs). En effet, ces activités sont difficilement évaluables sous des critères qualité, coût, délai, les spécifications variant très souvent (quand il en

<sup>22</sup> SoC ou "System on Chip" désigne un système intégré sur puce pouvant comprendre plusieurs types de composants pour réaliser une fonction..

existe), les horizons temporels sont variables (il n'y a pas de *roadmap* qui formalise le champ exploré). En 2007, l'organisation est supportée par plusieurs projets européens (comme le projet MIMOSA<sup>23</sup> portant sur le développement de solutions BAW pour des applications sans-fil, ou NAPOLYDE pour les batteries Above-IC) et français (qu'ils soient ANR ou rattachés au pôle de compétitivité MINALOGIC). Ces projets collaboratifs peuvent regrouper des partenaires de différentes natures (laboratoires de recherche universitaires, institutionnels, clients,...) et déboucher sur des résultats ou des modes de valorisation variés qui peuvent être : des prototypes, des modèles, de nouvelles normes ou standards (comme dans le cadre du projet MINAMI<sup>24</sup> et la norme de communication pour les courtes distances pour des application de « fast downloading » ou téléchargement rapide), des scenarii d'utilisation de nouvelles technologies.

Ce qui nous donne l'organigramme suivant en 2007 pour les activités « Derivatives & Above-IC » :

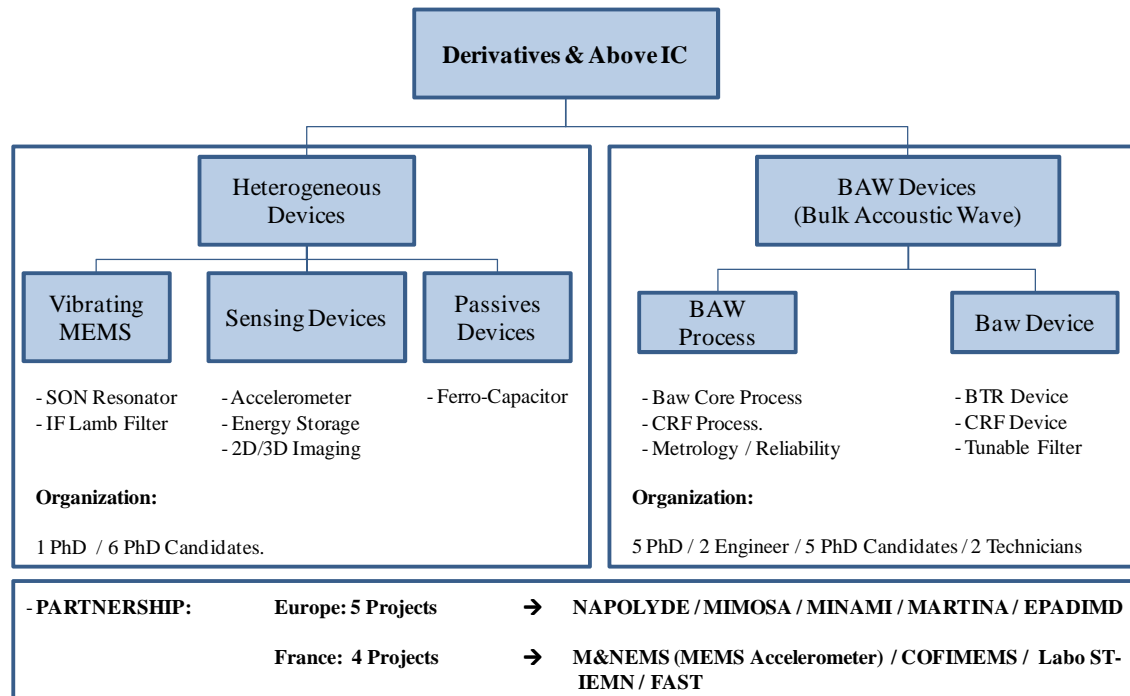


Figure 1.15 : Organigramme et activité « Derivatives & Above-IC » en 2007.

En Novembre 2008, le regroupement des équipes « Above-IC & Derivatives » et « Advanced Back-End » donne une organisation appelée « Derivatives & 3D » centrée autour de deux activités que sont l'intégration 3D et l'intégration des BAW. Ainsi l'activité Heterogeneous devices est organisée autour d'une activité plus particulière qui a pour but de réviser les technologies classiques utilisées dans l'industrie des semi-conducteurs.

<sup>23</sup> Pour **M**icrosystems platform for **M**obile **S**ervices and **A**pplications

<sup>24</sup> Pour, Micro-Nano integrated platform for transverse Ambient Intelligence, l'ensemble des documents et livrables relatifs à ce projet sont téléchargeables sur : <http://www.fp6-minami.org/>

En synthèse, on peut remarquer que l'organisation de l'exploration de nouveaux champs d'innovation est soumise d'une part, à une grande instabilité puisque nous avons cinq réorganisations en trois ans de présence sur le terrain de recherche, et d'autre part, à une importante volatilité des projets. Ceux-ci sont en effet contingents et dépendants des programmes noués avec les laboratoires externes (que ce soit le LETI, l'IMEC et les laboratoires universitaires) et du nombre, type de « sponsors » et 'business unit' intéressées.

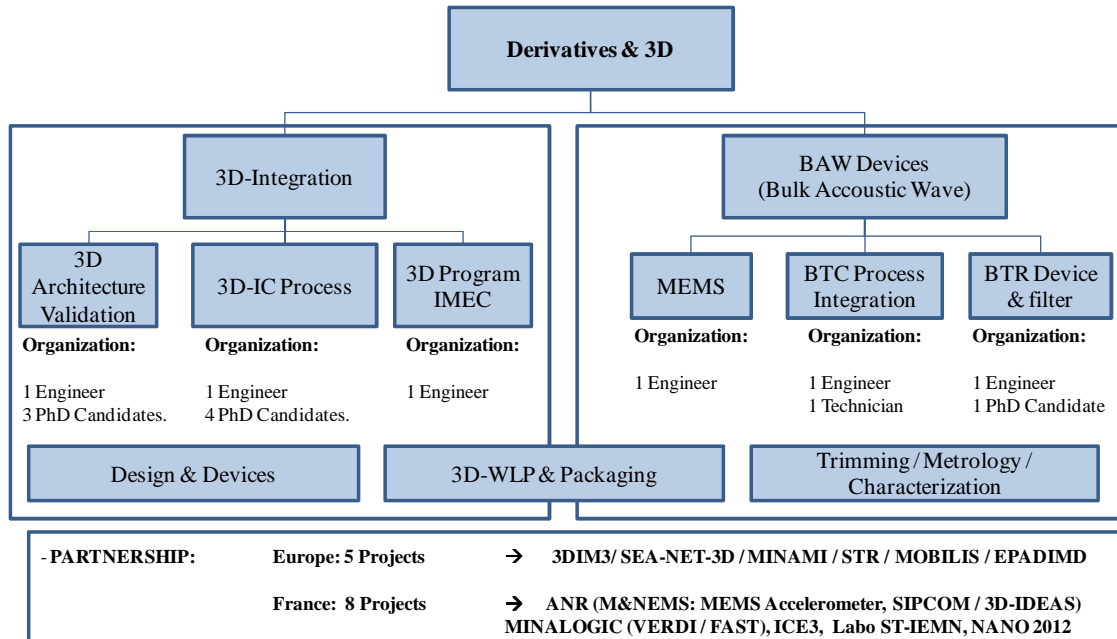


Figure 1.16 : Organigramme et activité « Derivatives & Above-IC » en 2009.

Ce constat suggère une première question : comment interpréter cette instabilité ? Est-elle un symptôme de désorganisation ? Quelles analyses en tirer ? Est-ce un signe d'inefficience ? Le principal élément de réponse que l'on peut apporter à cette question est que le langage « organisationnel » ne permet pas de traduire la dynamique présente dans cette structure. En effet, malgré toutes ces fluctuations, les activités perdurent. Ainsi, même si les structures organisationnelles fluctuent, les périmètres de conception des chercheurs-ingénieurs sont relativement stables.

### 2.3.2.2 Modes de financement et genèse des activités de recherche.

Le financement interne suit des logiques de budgétisations classiques par rapport à des ressources humaines à allouer chaque année. Concernant les modes d'évaluation, nous constatons dans un premier temps qu'il n'y a aucun élément formalisé qui cherche à évaluer les projets selon des critères prédéfinis. Des OR<sup>25</sup> constituent des revues de projets, qui permettent de faire le point sur l'état d'avancement des projets, qui peuvent avoir lieu à différentes fréquences (mensuels, ou bi-annuels). Néanmoins, une des difficultés à financer des projets en interne est liée à

<sup>25</sup> OR : Operation review

l'organisation en silo des différents centre de profits (appelés plus communément 'business unit'). Une technologie ne sera effectivement produite que si un centre de profit (A) décide de réaliser l'ensemble de l'investissement qui permettra de produire cette technologie, et qui pourra être réutilisée et exploitée par l'ensemble des centres de profits. Or, du fait du risque inhérent aux projets d'exploration, le centre de profit A aura plutôt tendance à attendre que ce risque soit supporté par un autre centre de profit (B), sachant qu'une fois développée la technologie sera accessible au même coût à l'ensemble des centres de profit. Celui qui aura pris le risque de développer une technologie innovante ne bénéficiera pas de ce point de vue d'un traitement de faveur. Ce type d'organisation est souvent ressenti par la R&D avancée comme un frein à l'innovation, sachant que les centres de profit sont en quelque sortes des « sponsors » des technologies en devenir.

Un second mode de financement pour la recherche avancée est lié aux projets collaboratifs qui permettent de réunir des partenaires complémentaires. Ceux-ci peuvent être de différente nature, régionaux, ANR, associés au pôle de compétitivité ou européen (dans le cadre de différents appels à projets comme le FP6 ou le FP7). Ils regroupent souvent différents types de partenaires : un client (qui a pour mission d'assurer la spécification fonctionnelle), des laboratoires de recherches, des start-up, des grands donneurs d'ordres (qui sont chargés de l'industrialisation de solutions technologiques et qui sont le plus souvent les porteurs des projets). Le rôle des projets collaboratifs pour la recherche avancée de la firme, est de proposer des briques technologiques qui seront des 'technology key enablers' ou des composantes de futures différentes plateformes. De manière générale, la genèse des activités de « recherche avancée » ne fait pas l'objet d'instances spécifique, c'est souvent une question d'opportunités, où il s'agit d'identifier des thématiques prometteuses, pour l'acquisition de compétences et de savoir-faire.

### 2.3.3 La recherche avancée: quel modèle de gestion de la recherche pour la rupture ?

Notre terrain de recherche adresse donc les thématiques « More than Moore » qui ont pour but d'explorer les nouvelles fonctionnalités attribuables aux circuits intégrés existants et pour lesquels, il n'existe justement pas d'équivalent de la 'Loi de Moore' ou de structure organisationnelle comme l'ITRS qui permettent de définir un cadre d'exploration. De ce constat et de notre analyse historiographique, nous pouvons donc qualifier cette recherche avancée à travers deux caractéristiques assez surprenantes (synthétisée en Figure 1.17) :

- **Une structure très instable à la recherche de son modèle** : on peut voir que cette entité est tentée à certains moments de se rapprocher de la recherche fondamentale, à d'autres d'un pilotage de type développement de produit. En fait, si l'on interprète ces différents mouvements, on peut remarquer que ce n'est finalement ni l'un ni l'autre – ce que l'on aurait pu identifier comme un mouvement de balancier se rapproche plus de la répulsion magnétique –, mais plutôt un mouvement de différenciation. Cet objet cherche à sortir des grandes tendances pour explorer de nouveaux espaces de valeur.

- **Une entité chargée de la « rupture »** : si l'on s'attarde sur le portefeuille d'activités de cette entité, on peut remarquer la disparité des sujets qui sont abordés et de leur état de maturité.

Plus encore, une des surprises à laquelle nous sommes confrontés est paradoxalement le décalage entre les ambitions affichées par cette entité et les ressources qui lui sont allouées. Alors que cette entité travaille sur une partie du futur de l'industrie qui consiste à réviser profondément les technologies (notamment les technologies planaires qui font la base de l'efficacité économique de l'industrie), et introduire des approches en rupture les ressources allouées semblent relativement limitées.

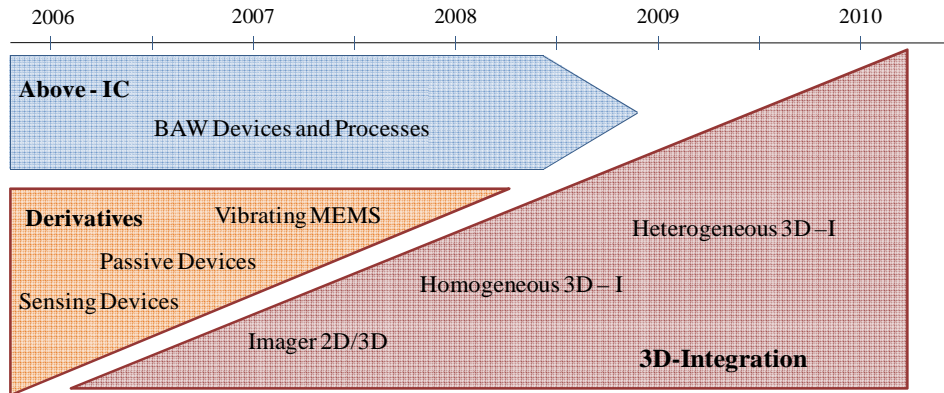


Figure 1.17: Evolution des activités de recherche avancée entre 2005 et 2009.

Nous venons d'exposer pourquoi il y a une recherche avancée, quels sont ses attributs et en quoi elle échappe à la dynamique précédemment décrite. La particularité de cette structure est qu'elle s'appuie à la fois sur des activités structurantes (des projets collaboratifs) et des activités éphémères qui permet d'explorer de nouveaux espaces de valeur. Nous avons donc affaire à un objet singulier qui ne rentre pas dans le cadre précédemment défini et qui nous amène à aborder des questions de gestion par rapport à des pratiques classiques. Comment évaluer les activités de cette entité, quels sont les principes de gestion et les outils de pilotage que l'on peut proposer ? L'ensemble de ces questions nous ont amené à recontextualiser l'ensemble de ces travaux par rapport aux théories les plus contemporaines en sciences de gestion et à relire les approches classiques d'évaluation de la recherche.

### 3 L'ÉVALUATION DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE :

#### LES NOUVELLES QUESTIONS SOULEVÉES PAR L'INNOVATION DE RUPTURE

##### 3.1 QUELLE FORME DE RECHERCHE POUR L'INNOVATION DE RUPTURE ?

Nous sommes d'abord revenus sur les débats académiques autour de la notion de « recherche » avec un premier objectif : comprendre en quoi ceux-ci permettent d'éclairer la notion de « recherche avancée ». Dans une économie basée sur la création et l'exploitation de connaissances, la recherche qu'elle soit fondamentale ou appliquée est associée traditionnellement à un gain de compétitivité. Le commissaire européen Janez Potocnik rappelle dans sa publication “Low business R&D a major threat to the European knowledge-based economy” que la recherche et la science sont « a key component of competitiveness »<sup>26</sup> (la connaissance est donc un des éléments clés de la compétitivité, ce qui rappelle l'aphorisme de Sir Francis Bacon « Knowledge is power » (Religious Meditations, Of Heresies, 1597)). Néanmoins, la littérature revient aussi sur la définition même de la ‘recherche’ qui peut prendre plusieurs formes et avoir plusieurs attributs « académique », « fondamentale », « appliquée », « industrielle », « technologique ». En dehors des dénominations, différentes typologies des activités de recherche ont été proposées dans la littérature, au-delà de la différenciation entre « recherche fondamentale » et « recherche appliquée » proposée par certaines agences gouvernementales pour des raisons statistiques.

Fundamental ?	<b>Yes</b>	Pure Basic Research <b>(Bohr's Quadrant)</b>	Use-inspired Basic Research <b>(Pasteur's Quadrant)</b>
	<b>No</b>	Use-inspired Basic Research <b>(Birdwatchers Quadrant)</b>	Pure applied Research <b>(Edison's Quadrant)</b>
		<b>No</b>	<b>Yes</b>
		Useful ?	

Figure 1.18 : Matrice de Stockes et typologie de recherche. (Stockes 1997)

En effet, Donald Stockes (Stockes 1997) distingue différentes variantes qu'il classifie selon quatre quadrants, où la recherche est motivée à la fois par les promesses applicatives qu'elle comporte mais aussi par les enjeux que représentent la compréhension de phénomènes fondamentaux (il distingue ainsi quatre quadrants qui mettent en contraste différents types de recherche). Traditionnellement, les firmes s'engagent dans des activités de recherche fondamentale pour plusieurs raisons. Dans certains cas, la recherche est dite 'by-product', i.e. est

<sup>26</sup> Communiqué intitulé “Low business R&D a major threat to the European knowledge-based economy” téléchargeable sur : <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/07/790&format=HTML&aged=0&language=EN&uiLanguage=en>

liée au développement de produit ou procédé (Rosenberg 1990) (on se retrouve dans le quadrant d'Edison). Dans d'autres cas, la production de connaissances génériques est par nature la motivation de ce type d'activité (et la conviction que des nouveaux produits, procédés résulteront de cet incrément de connaissance), ce qui permet de rester connecté aux progrès réalisés dans le monde académique (on se retrouve là dans le quadrant de Pasteur). Du fait de ces raisons, plusieurs firmes s'engagent dans des travaux de recherche fondamentale, c'est le cas notamment de DuPont, où Charles Stine<sup>27</sup> argumentait en 1926 : « applied research is facing a shortage of its principal raw materials » (Hounshell and Smith 1988). Dans ce contexte, les laboratoires de recherche industriels ont fait l'objet de nombreuses monographies, cherchant à retracer des trajectoires de firmes (DeVries 2001), ou montrer comment la recherche industrielle a eu un impact sur la science et les évolutions technologiques (Reich 1985). En effet, Reich revient dans son ouvrage "The Making of American Industrial Research - Science and Business at GE and Bell, 1876 – 1926" sur l'histoire de laboratoires industriels de firmes comme AT&T et GE pour montrer comment grâce au développement de produits et procédés brevetés celles-ci ont pu défendre certains marchés ou empêcher le développement de certaines technologies (notamment pour la communication sans fil).

Finalement, même si la NSF (Bennof 2010) distingue la recherche fondamentale ou « basique », dont le but est de comprendre de nouveaux phénomènes physiques sans but précis, de la recherche appliquée qui cherche à produire de la connaissance par rapport à une utilisation définie, ce type de typologie ne décrit pas son rapport au processus de conception. Le débat fondamental / appliqué ne décrit le rapport de la recherche à la définition de nouveaux espaces de conception (et l'exploration de l'inconnu). Nous n'avons donc pas retrouvé à travers la littérature de définition correspondant au qualificatif « avancé » ou « recherche avancée » telle que nous l'avons rencontrée sur notre terrain de recherche, c'est-à-dire ni une recherche qui soit fondamentale ou une recherche qui soit du pré-développement. Nous qualifierons ainsi la recherche comme une activité qui « produit de façon rigoureusement contrôlée et avec une économie de ressources, des connaissances sur les questions posées » (Le Masson 2001) (p. 377). La recherche produit donc de la connaissance, mais quelle est sa valeur ? Comment évaluer cette connaissance produite ? L'évaluation de ce type d'activité n'est pas une question nouvelle, c'est une problématique récurrente pour laquelle différentes doctrines ont été construites.

### 3.2 L'ÉVALUATION DE LA RECHERCHE UNE QUESTION ANCIENNE

Dès que l'on cherche à évaluer la recherche comme « processus contrôlé de connaissance », on retrouve rapidement des questions de rendement d'activité. De nombreux travaux ont porté sur le dénominateur depuis le début du siècle dernier sur le rendement associé à ce type d'activité (Peirce 1871 ) et plus proche de nous par des institutions comme l'OCDE (OECD 2001). Pour satisfaire des approches statistiques le manuel de Frascati a notamment distingué plusieurs types de recherche et revient sur les ressources associées aux activités de recherche et plus globalement de R&D en distinguant dépenses en personnel, en formation, en instruments et équipements de prototypage (Frascati Manual 2002). La question des ressources associées aux travaux de R&D est assez bien instrumentée et contrôlée (si on simplifie à l'extrême, on peut considérer que les

<sup>27</sup> Chimiste de formation, Charles Milton Altland Stine (1882 – 1954) a été un des Vice-Président de DuPont où il a notamment créé un laboratoire à l'origine de nombreuses inventions, dont le nylon.

ressources sont associées à du personnel et des instruments). Plus encore les entreprises sont saturées d'indicateurs, de modèles de coûts (en fonction des technologies, des volumes de production, des taux d'amortissement des équipements, etc.) et d'outils d'évaluation de rendement. Ceux-ci font d'ailleurs l'objet de plusieurs revues de littérature (Martino 1995). La question délicate vient au numérateur : que faut-il prendre en compte ? De nombreux auteurs s'accordent sur le fait qu'il est difficile de mesurer les impacts de travaux de recherche, essentiellement parce qu'ils sont le plus souvent indirects que directs mais aussi parce que leurs effets sont diffus dans le temps (Hooge 2010).

On comprend facilement qu'un centre de coût dont la valeur est discutable devient rapidement susceptible d'être interrompu. Le paradoxe auquel on aboutit est que pour un centre de coût, il faut bien souvent que la valeur soit évidente, pas nécessairement chiffrable, mais du moins indiscutable (ce qui est le cas pour les services « paye », « Ressources Humaines » ou « comptabilité »). Or pour la recherche avancée, on ne dispose pas d'une bonne théorie de la structure de la valeur (c'est un des éléments qui rend une structure en « P&L »<sup>28</sup> difficilement adoptable). La recherche avancée est donc un centre de coût qui doit sans cesse faire la démonstration de sa valeur. C'est une activité qui ne vend pas le fruit de ses activités (qui vend plutôt la promesse de ce qu'elle fait), elle ne s'autofinance pas, mais c'est une activité qui est capable de trouver des ressources en externe (comme nous l'avons vu précédemment, via des projets collaboratifs du type ANR, pôles de compétitivité ou européens).

Par conséquent, il n'y a pas de théorie stabilisée sur la question de l'évaluation des travaux de recherche, ce qui suscite plusieurs questions vis-à-vis de la nature de l'output attendu et des résultats de ce type de travaux. Ceci nous a amené à considérer de manière plus précise dans la littérature quelles sont les théories associées à la valeur de la recherche ? Nous en concluons, historiquement la recherche s'est toujours posée la question de la valeur (Stephan 1996) (Hauser 1996).

Ainsi, nous pouvons relire l'évaluation de la recherche au regard de son lien et sa contribution à l'innovation, et des débats qu'ont connu ces deux thématiques (ce que nous représentons dans la figure 1.20). La recherche a, dès ses débuts, été considérée comme un moyen de s'approprier des connaissances (par l'octroi de patentes et l'obtention de brevets), sa valeur collective a été associée à son rôle qui est d'animer des communautés de recherche, les publications scientifiques permettant de rester au contact de communautés scientifiques et de faire progresser la science. A partir des années 90, les critères d'évaluation de la recherche sont assez stabilisés, on retrouve une lignée où la recherche joue sur la réduction d'incertitude pour accélérer les processus de conception (notamment par la réduction de coûts), une lignée appropriation de la connaissance où la recherche est évaluée par sa capacité à déposer des brevets, une lignée publications et communautés (où la recherche est évaluée par la qualité de ses contributions à des communautés scientifiques). En revanche, ce qui arrive massivement, ce sont les débats autour de l'innovation qui prennent différentes formes. Dans un premier temps c'est le développement de nouveau produit (NPD) qui introduit des critères d'évaluation du type Qualité, Coût, Délai (Q, C, D). Dans ce débat une des approches essentielles est le management de projet où la notion de

---

<sup>28</sup> P&L: Profit and Lost qui permet d'adopter une structure en « ensemble de profits » et « ensemble de coûts ».



« contrôle » prend le dessus sur la « flexibilité » et la « nouveauté » (Lenfle and Loch 2010). C'est ensuite l'innovation radicale ou de rupture, qui met sous tension ces critères d'évaluation, alors qu'on ne sait pas très bien positionner la recherche par rapport à cette notion. C'est enfin la notion d'innovation ouverte ou « open-innovation » qui a tendance à dévaloriser entièrement le rôle de cette activité, puisqu'il semblerait que les connaissances soient disponibles en externe : il ne faut plus que poser la question sur le web pour obtenir la réponse adéquate à sa question.

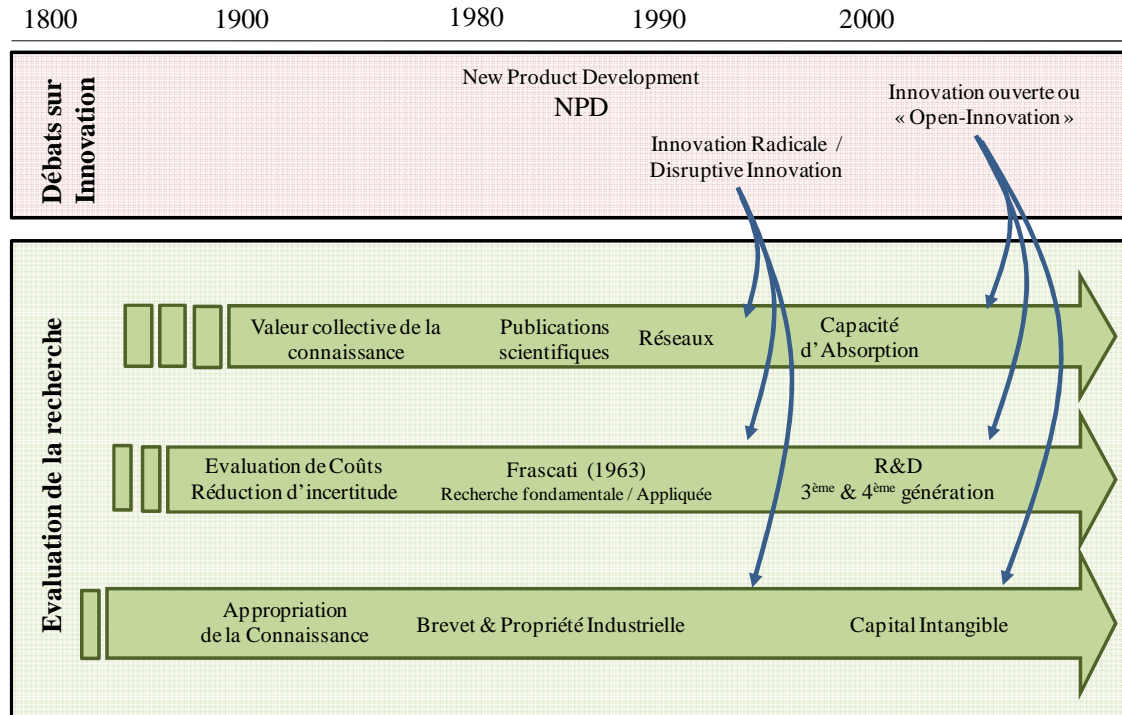


Figure 1.20 : Recherche et innovation relecture des principales discussions a travers l'histoire

Par conséquent, les débats sur le développement de produit nouveau (*New Product Development*) puis autour de l'innovation de rupture ont inversé les logiques d'évaluation alors que la notion d'open-innovation a procédé à la dévalorisation totale du rôle de la recherche.

On peut identifier trois courants de l'évaluation de la recherche :

- A minima en considérant que la recherche anime des réseaux de laboratoires ;
- Que la recherche contribue aux produits (comment la recherche permet de préparer les futures générations de produits, sources de profit et rentabilité) et enfin ;
- Que la recherche est évaluable par sa production de brevets (comment mesurer les résultats de recherche à travers une production de brevets).

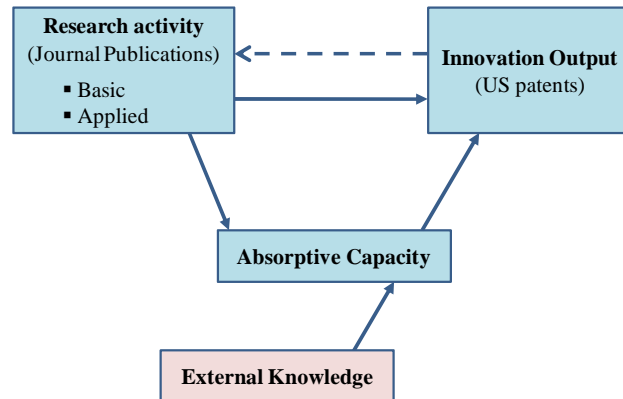


Figure 1.19 : Recherche et innovation un modèle proposé par la littérature (Lim 2004)

Ceci est illustré par exemple par différents modèles (Lim 2004) qui cherchent à montrer que les activités de recherche (qu'elles soient fondamentales ou appliquées) permettent d'améliorer la « capacité d'absorption » de la firme et que ses résultats sont valorisés à la fois par le dépôt de brevets, la publication d'articles scientifiques mais aussi par sa contribution à différentes innovations.

Regardons de plus près ce que la littérature nous donne comme éléments d'évaluation pour chacune des dimensions précitées (réseaux, produits, brevets) et en quoi les caractéristiques de l'entité que nous avons à étudier (instabilité et rupture) suggèrent des questions de recherche par rapport aux approches classiques.

### 3.3 UNE EVALUATION DE LA RECHERCHE PAR LES EFFETS DE RESEAUX

#### 3.3.1 La recherche pour les réseaux et les communautés de connaissances.

A minima, on peut considérer que le rôle de la recherche est d'animer des réseaux de laboratoires externes. Le concept de « capacité d'absorption » ou « absorptive capacity » décrit cette membrane entre connaissances externes et innovation. Plus précisément, il s'agit de caractériser l'effort à réaliser pour absorber les connaissances à l'extérieur des frontières de la firme, même si celles-ci existent dans le domaine public. Cette capacité est décrite en activités qui consistent à identifier, assimiler et exploiter cette connaissance extérieure (Cohen and Levinthal 1989). L'innovation peut être alors considérée comme une capacité organisationnelle au sens où elle va mobiliser, à travers ses activités de conception, des ressources de connaissances internes et externes (Chanal and Mothe 2004). Identifier la « connaissance » qui permet de capturer la valeur, suppose que les champs épistémiques de recherche soient déjà définis, ce que Cohen et Levinthal retraduisent de la manière suivante « the ability to evaluate and utilize outside knowledge is largely a function of prior related knowledge » (*ibid.*). Un des rôles de la recherche a toujours été d'animer des réseaux de laboratoires pour acquérir des compétences. Ainsi, Cohen et Levinthal soulignent (Cohen and Levinthal 1990) (Doz 2006) que la valeur de la recherche réside dans sa capacité à améliorer la capacité d'absorption des employés, ce que Henard qualifie comme « R&D Knowledge is power » (Henard and McFadyen 2006). Cette notion a été discutée sous différentes dimensions, notamment pour différencier les structures organisationnelles (Todorova and Durisin 2007), les routines que les firmes mettent en place pour acquérir de nouvelles sources de compétences qui influent sur la capacité d'absorption (Vega-Jurado, Gutiérrez-Gracia and Fernández-de-Lucio 2008) (Zahra and George 2002). Ainsi, mesurer l'impact non-économique de la recherche consiste à avoir une meilleure compréhension des mécanismes de transfert, d'acquisition et d'exploitation de connaissances, ce qui revient à considérer que la notion de « capacité d'absorption » permet d'alimenter des arbitrages du type « Make or Buy » pour de nouvelles technologies et activités.

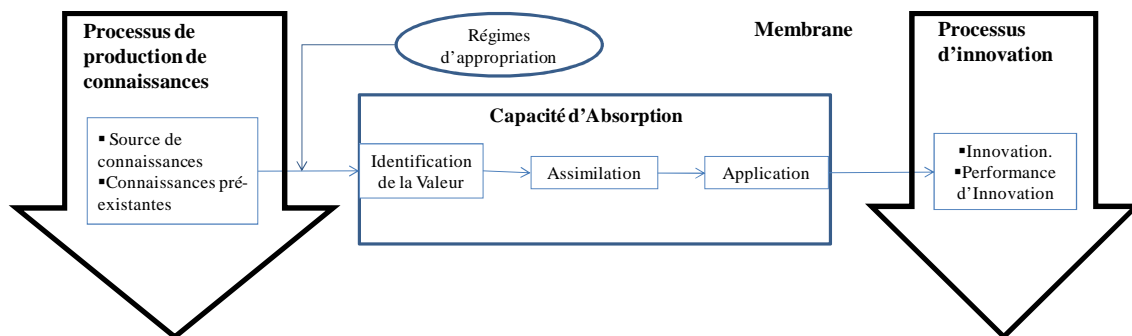


Figure 1.21 : Interprétation du modèle de capacité d'absorption proposé par Zahra & Georges (Zahra and George 2002)

Cette question de la valorisation des connaissances extérieures et de la gestion de réseaux de laboratoires pour des partenariats de recherche est de plus en plus importante dans la

communauté académique. En effet, dans la conférence EURAM<sup>29</sup>, on trouve en 2010 une session sur la gestion des connaissances intitulée « Rethinking the Strategic Imperative of Organizational Learning Practices – **Absorptive Capacity** from a Process and Network Perspective » et qui a donné lieu à un numéro spécial dans la revue « International Journal of Knowledge Management Studies ». Ainsi, cette notion de capacité d'absorption, comme principe de gestion et d'évaluation des activités de R&D est largement discutée à travers la communauté scientifique.

### 3.3.2 Quels réseaux doit construire la recherche pour les approches en rupture ?

Ainsi, l'ensemble de la communauté de chercheurs s'accorde pour affirmer qu'il est nécessaire d'avoir une capacité d'absorption pour exploiter des connaissances externes, être au fait des avancées de l'état de l'art scientifique et discute des déterminants qui permettent d'en gérer l'efficacité. D'autant plus qu'en situation de rupture, la question de l'acquisition de connaissance est critique pour la validation de certains concepts (et surtout pour assurer leur viabilité). Ceci tend à montrer qu'il y a besoin d'une forte capacité d'absorption. Pourtant, on peut se demander si la nature de la structure des bases de connaissances pré-existantes n'a pas tendance à fixer les métiers dans de champs de recherche déjà pré-structurés et déjà suffisamment bien identifiés (ce qui correspond à un phénomène plus communément appelé « fixation effect »). Ainsi, alors même que la notion de Capacité d'Absorption (Absorptive Capacity) est issue de cas d'études réalisés dans l'industrie des semi-conducteurs (Tilton 1971), ce constat nous invite à analyser en quoi cette notion est-elle compatible avec une innovation de rupture ? Ces deux éléments, a priori contradictoires suggèrent donc tout un ensemble de questions. Finalement pour favoriser l'exploration de sujets en rupture, faut-il une forte ou une faible capacité d'absorption ? Comment identifier la valeur des connaissances à acquérir (les réseaux à activer) alors même que les sujets faisant l'objet de recherches avancées sont en rupture (i.e. qu'ils n'ont aucun lien avec les bases de connaissances préexistantes) ?

Ces premières questions sur la nature de la capacité d'absorption à décrire pour les sujets en rupture en suggèrent d'autres sur la nature de la métrique qui permettrait d'évaluer ce type de capacité d'absorption. En effet, si l'on cherche à évaluer les activités de recherche en terme de résultat ou de processus, que faut-il mesurer ? Un nombre de nouvelles communautés scientifiques adressées ? Un nombre de nouvelles conférences ?

## 3.4 UNE EVALUATION DE LA RECHERCHE PAR SA CONTRIBUTION A LA CONCEPTION DE PRODUITS

### 3.4.1 La recherche : fournisseur de connaissance pour la conception de produit.

Une première approche consiste à considérer la recherche comme la phase amont du processus de conception, où elle a pour rôle de réaliser des découvertes qui sont ensuite transférées au développement. Cette représentation de la recherche « *by-product* » a maintes fois été discutée à travers la littérature. Plusieurs modèles ont cherché à qualifier le rôle de la recherche que ce soit en amont du processus de conception (comme le modèle linéaire) (Martino 1995), qui a rapidement été largement critiqué ou en parallèle du processus de conception (le

---

<sup>29</sup> European Academy of Management

« chain-linked model » (Kline and Rosenberg 1986)), de manière asservie, en support (Hooge and Hatchuel 2008).

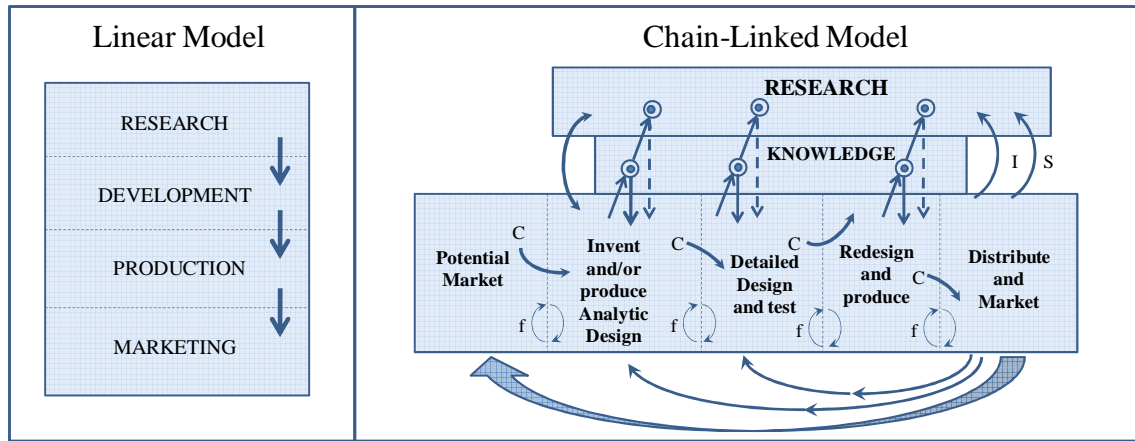


Figure 1.22 : Le modèle linéaire et le modèle Chain-linked (Kline and Rosenberg 1986).

On retrouve dans la littérature les différents modèles liés à la gestion de la R&D, notamment ceux de 1<sup>ère</sup> génération caractérisée par une gestion intuitive, ce que les auteurs Saad, Bohlin et Van Oene décrivent en ces termes : « mettez une poignée d'ingénieurs brillants dans une chambre noire, versez de l'argent et espérez » (Saad, Bohlin and Oene 1992), une de 2<sup>ème</sup> génération où l'organisation des activités est disciplinaire et la gestion des résultats de la responsabilité des chercheurs, de 3<sup>ème</sup> génération basée sur la gestion de porte-feuilles de projets R&D (Saad, Bohlin et al. 1992) et 4<sup>ème</sup> générations (Miller and Morris 1999) où le client est intégré dès les phases amont du processus de conception. De même Iansiti (Iansiti and West 1997) décrit un modèle où la recherche avancée a une fonction d'intégration des résultats d'une recherche fondamentale pour en assurer l'industrialisation et le transfert vers des entités de développement. Toutes ces représentations cherchent à répondre à la même classe de question : comment positionner la recherche par rapport à une problématique de développement de nouveaux produits ?

### 3.4.2 Quelles connaissances la recherche doit produire pour l'innovation de rupture ?

Ainsi, dans une première approche, il s'agit de considérer que la recherche sert aux produits et permet de préparer l'avenir de la firme. La rupture ou la notion de recherche de « rupture » peut être associée aux approches de discontinuité ou d'innovation radicale qui font l'objet de plusieurs débats : quelles sont les difficultés rencontrées par les organisations établies pour adopter de nouvelles technologies (Christensen 1997), comment des technologies émergentes deviennent-elles des « dominant design » (Utterback 1994) ?

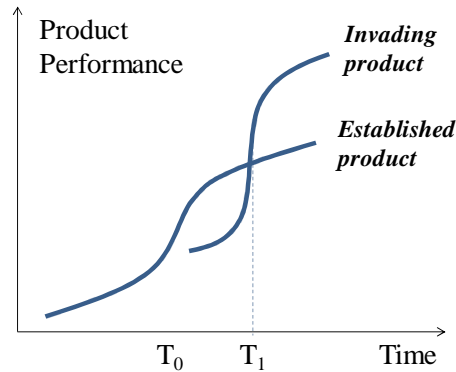


Figure 1.23 : L'introduction d'approches en rupture (Utterback 1994).

Si l'on considère donc une « recherche de rupture », cette assertion pose plusieurs problèmes dans des logiques de plateformes et des logiques de renouvellement extrêmement rapide des connaissances. Dans le cas de rupture cela donne des évaluations très compliquées, où les effets peuvent être très bénéfiques ou dévastateurs puisque par définition on ne sait pas dire a priori sur quels types de produits les travaux de recherche seront appliqués et à quelle échelle de temps. Ceci suggère plusieurs questions : comment qualifier la recherche de rupture par rapport à des approches de plateformes de conception ? Comment évaluer la contribution de cette recherche ? Quels sont les indicateurs que l'on peut proposer ?

### 3.5 UNE EVALUATION DE LA RECHERCHE PAR SES APPORTS EN PROPRIETE INDUSTRIELLE

#### 3.5.1 Les brevets comme indicateur des activités de recherche.

Si on revient sur l'histoire des laboratoires industriels, celle-ci regorge d'anecdotes qui montrent comment les brevets sont considérés comme un des résultats importants des travaux de recherche. Ceux-ci sont essentiellement utilisés pour protéger des champs déjà explorés ou de manière défensive pour interdire l'exploitation de nouvelles technologies. On pourra revenir sur des exemples historiques comme les laboratoires d'AT&T et la communication sans fil, ou GE (Reich 1985) avec tungstène ductile utilisé pour les lampes à incandescence ou Dupont et le nylon.

La valeur des brevets est relative à leur utilisation (Sincholle 2009) qui peut être de différente nature (Pat Val - EU project 2005). Un brevet peut à la fois être utilisé pour protéger un espace de conception (la fonction première d'un brevet donnant le droit d'interdire), l'exploitation interne pour le développement de produit ou procédé, convenir d'accords de licences croisées, être latents ou dormants (c'est un « actif incorporel » permettant d'avoir une option sur le droit d'exploitation). Les brevets sont aussi souvent utilisés pour détecter des discontinuités technologiques ou des évolutions d'introduction de nouvelles technologies (Ehrnberg and Jacobsson 1997). Cet indicateur bibliométrique montre le degré et niveau d'activité pour l'exploitation et le développement dans un domaine technologique. La question de disposer de la bonne couverture d'un espace de conception avec des brevets est d'autant plus critique, par rapport à des approches en rupture, où l'évaluation même du type de brevet à déposer pose problème.

### 3.5.2 Les brevets et la Recherche pour la rupture : un effort de conception spécifique.

Nous avons vu que la question des brevets est particulièrement critique pour protéger des travaux de recherche, surtout quand des litiges sont engagés (Hall and Ziedonis 2007). Or un des constats qui est fait sur le dépôt de brevet est un paradoxe de plus en plus grand entre le nombre de brevets déposés et le nombre de brevets effectivement utilisés (Hall and Ziedonis 2001), où les firmes engagent des stratégies de dépôt de brevets tout azimut qui sont très coûteuses. Par conséquent, par rapport à des activités de recherche avancée qui adressent des sujets en rupture, cela soulève encore une fois plusieurs questions (Lindsay and Hopkins 2010). Si la recherche de rupture permet de concevoir de nouvelles briques technologiques, quels sont les brevets à déposer ?

Si on suit le critère prépondérant à travers la littérature qui consiste à maximiser un nombre de brevets, celui-ci pourra être très bon (c'est-à-dire que l'on peut a priori appliquer une nouvelle brique technologique à un ensemble de composants existants) encore qu'on ne saura pas distinguer la valeur parmi les différents brevets. Ainsi, on peut en déposer plein, au risque d'en avoir plusieurs qui soient inutiles ?

Un des enjeux par rapport à des approches en rupture est aussi de disposer de portefeuille de brevets qui permettent de paver un espace de conception. Quels sont les éléments dont dispose la recherche avancée pour proposer des brevets sur ces nouvelles technologies ? Comment sont évaluées les différentes alternatives ? C'est à cet ensemble de question que nous essaierons d'apporter des réponses.

## 3.6 PROGRAMME ET QUESTIONS DE RECHERCHE

Ainsi, nous avons vu dans une première partie que l'évaluation de la recherche soulève plusieurs questions liées à la valorisation des connaissances produites, que ce soit par des approches scientométriques, pour la préparation des nouvelles générations de produits ou la mise en place d'une capacité d'absorption. Face à cette entité qui adresse des sujets de recherche avancée en rupture, nous sommes donc amenés à nous poser plusieurs questions par rapport à ces approches classiques que nous synthétiserons de la manière suivante : sous quel angle l'activité de cette entité paradoxale (chargée de l'exploration de nouveaux espaces de valeur) doit-elle être interprétée? Quels seraient les critères pertinents qu'on pourrait lui associer ?

En effet, la notion de capacité d'absorption a été construite et proposée à partir de travaux réalisés dans l'industrie des semi-conducteurs (Cohen and Levinthal 1990), notamment sur la base des travaux de Tilton (Tilton 1971). **Avec la recherche avancée que nous avons trouvée sur notre terrain industriel s'agit-il encore d'interpréter cette activité comme une « capacité d'absorption » de connaissances produites en externes ?** Dans ce cas, quelle est la nature des connaissances à absorber ? Comment évaluer cette capacité d'absorption : par un nombre de conférence à adresser, des communautés scientifiques à rejoindre ? Cette capacité d'absorption a-t-elle un effet positif ou négatif sur les sujets en rupture ? Etant donné que les sujets en rupture adressent de nouvelles connaissances, on peut penser que l'identification de la valeur des

connaissances externes reste difficile. L'ensemble de ces éléments, suggèrent un travail de modélisation pour clarifier cette notion.

Deuxièmement, **si la recherche avancée doit-être interprétée comme la préparation des nouvelles générations de produits, dans ce cas, quels types de plateformes sont conçus et à quelle échelle de temps ?** Les travaux de recherche concernent-ils la génération de produits suivante uniquement, où cherchent-ils à anticiper un ensemble de générations de produits à venir ? Ces questions incitent à regarder plus en détail comment qualifier les activités de recherche avancée par rapport à des plateformes technologiques à concevoir. Ceci suggère un travail de modélisation pour identifier les différents modes de re-génération de plateformes technologiques.

Enfin, **si l'on considère la recherche comme une capacité à protéger des espaces de valeur en proposant des brevets, dans le cas de sujets en rupture, quels sont les brevets à proposer ?** A partir d'un cas d'étude que nous avons mené au sujet de l'intégration 3D, nous proposerons une méthode nommée « C-K Invent », dérivée de la théorie de la conception C-K (Hatchuel and Weil 2003) (Hatchuel and Weil 2009). Nous présenterons dans la partie relative à notre méthodologie (p. 41) cette théorie qui a fait l'objet de nombreuses publications et approfondissements à la fois sur la base de travaux théoriques ou empiriques.



## **4 METHODOLOGIE ET DEROULEMENT DE LA RECHERCHE**

Comme nous l'avons montré précédemment, la question initiale assez ouverte cherchait à expliquer les modes de fonctionnement de cette entité paradoxale dite de recherche avancée et de proposer des outils de pilotage et d'évaluation selon des dimensions à définir. A cette question, l'analyse de la littérature montre qu'on ne peut pas apporter de réponse toute faite et directe, nous avons donc eu besoin d'un examen profond des modes d'actions pour préciser son rôle et définir les leviers d'actions associés. C'est typiquement un cas dans lequel une démarche de recherche-intervention se justifie (Hatchuel 2007).

### **4.1 DE LA DEMANDE INITIALE AU CHOIX DES METHODES D'ANALYSE**

La première étape de ce travail de recherche a consisté à définir les orientations et dimensionner les travaux de recherche. A partir d'une question assez ouverte sur le pilotage et l'évaluation des travaux de recherche, notre travail a consisté dans un premier temps à procéder à la reconstitution a posteriori d'un projet de recherche particulier pour en comprendre l'organisation, la structure et les raisonnements. Ceci nous a permis de nous approprier les dimensions technologiques de différents projets. Le second type de méthode est le suivi d'exploration en cours qui permet d'instrumenter les stratégies de conception, de modéliser les choix et d'explicitier le rôle de la recherche au regard des différentes hypothèses que nous avons formulées.

Nous avons donc affaire à un terrain empirique suggestif et stimulant où notre ambition est de générer des connaissances pratiques « actionnables » utiles pour les organisations contemporaines et des connaissances théoriques contribuant à des approches théoriques généralisables. La démarche de recherche intervention s'appuie sur un terrain qui constitue le lieu d'émergence de la connaissance pratique et de la théorie, elle s'appuie sur quatre principes (David 2000), communs aux démarches scientifiques d'intervention, le premier étant « la compréhension en profondeur du système » et de ses modes de fonctionnement, le deuxième « la production de connaissances en interactions avec le terrain », le troisième « le parcours de différents niveaux théoriques » à partir de l'interprétation de faits mis en forme, et enfin « la dimension critique de la méthode et justifie sa nature prescriptive ».

Nous avons donc entretenu avec notre terrain un rapport d'étude longitudinale basée sur l'expérimentation de nouveaux instruments. Ceux-ci ont été construits au fur et à mesure, sur la base de modélisations que nous avons progressivement mises au point et affinées, à la suite d'allers-retours 'théorie-terrain'.

### **4.2 LES DIFFERENTES PHASES DE LA RECHERCHE-INTERVENTION**

#### **4.2.1 1<sup>ère</sup> séquence : une compréhension de l'objet de recherche.**

Les travaux sur l'exploration de « champs d'innovation » (Hatchuel 2001) (Hatchuel and Weil 2003) montrent que l'interprétation des trajectoires des activités de recherche requiert une

compréhension fine des raisonnements de conception, qui rendent compte des processus de genèse d'alternatives – et non pas seulement de sélection dans un espace inconnu. Pour mener notre enquête à ce sujet, le début de nos travaux a consisté à analyser et interpréter un parcours de travail de recherche particulier. Nous nous sommes donc intéressé à décrire les raisonnements de conception pour les caractériser et modéliser en utilisant la théorie C-K.

La théorie C-K (Hatchuel and Weil 1999) (Hatchuel and Weil 2002) (Hatchuel and Weil 2003) est une théorie du raisonnement de conception. A travers un formalisme basé sur la théorie des ensembles, elle décrit la manière dont les concepteurs conçoivent leurs objets en modélisant cette activité comme l'expansion de deux espaces : l'espace des Concepts (C) et l'espace des connaissances (K pour Knowledge) (cf. Figure 1.24). Une modélisation C-K commence par la définition d'un concept initial  $C_0$ , une proposition intelligible n'ayant pas de statut logique. A l'ensemble représenté par le concept initial, des propriétés vont être ajoutées ou retranchées, ces opérations vont partitionner l'ensemble initial. Cette coévolution va être rendue possible par l'application de quatre opérateurs qui interagissent entre et dans les espaces ( $C \rightarrow K$ ,  $K \rightarrow C$ ,  $K \rightarrow K$ ,  $C \rightarrow C$ ). La nature des partitions effectuées (partition restrictives vs partitions expansives) va permettre de rendre compte du degré d'innovation du raisonnement de conception. Cette théorie a fait l'objet de plusieurs travaux, on peut notamment citer ceux de T. Gillier (Gillier 2009) sur la génération des objets de coopération interentreprises, ceux de R. Rosier (Rosier 2007), sur les stratégies et raisonnements de conception liés aux processus d'exploration ou enfin ceux de V. Sincholle (Sincholle 2009) sur l'utilisation de la théorie C-K relative aux brevets, ou ceux S. Lenfle pour l'utilisation de cette théorie pour la conception de service innovant (Lenfle 2005).

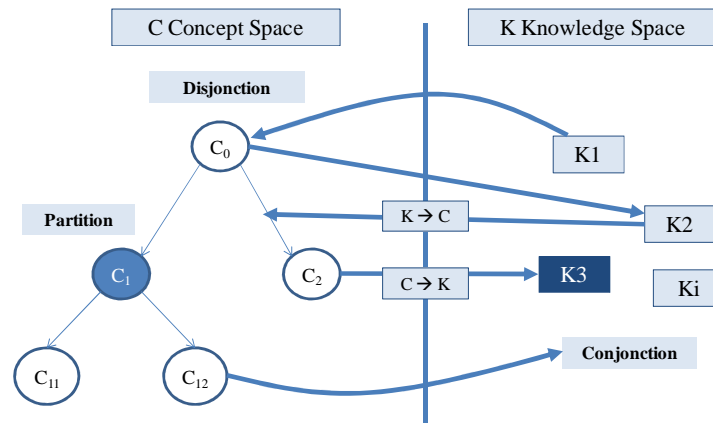


Figure 1.24: Représentation de raisonnement de conception par un modèle C-K (Hatchuel and Weil 2003)

Pour revenir sur notre première séquence de travaux, un des enjeux de ce premier travail a été de positionner ces activités de recherche (dans le cadre d'une activité liée aux capteurs d'images CMOS) par rapport aux stratégies de développements produits et aux activités de production. Ceci nous a permis de définir en quoi une 'capacité d'absorption' classique ne permettait pas de répondre aux enjeux de ce type de recherche, ce qui nous a permis d'introduire un nouveau cadre d'interprétation de ces travaux par rapport aux acteurs extérieurs et l'écosystème environnant.

#### 4.2.2 2<sup>ème</sup> séquence: Modélisation des activités de recherche et fonction de conception

La deuxième séquence de nos travaux a consisté à interpréter le rôle de la recherche avancée par rapport aux futures générations de produits. Nous nous sommes attachés à modéliser et simuler différentes stratégies de conception de « règles de conception » utilisées pour le développement de plateformes. Des allers-retours constants entre terrain et recherche, entretenus par des modélisations et simulations d'indicateurs économiques, nous ont permis d'analyser l'impact de l'effet plateforme sur une famille de produit. Nous apportons donc des éléments de réponse par rapport au deuxième point soulevé par nos questions de recherche, à savoir : en quoi la recherche avancée permet de concevoir les gènes des plateformes de produits des générations futures ?

#### 4.2.3 3<sup>ème</sup> Séquence : Recherche avancée et propriété industrielle.

A travers l'étude longitudinale concernant l'exploration d'une thématique émergente dans l'industrie des semi-conducteurs, « l'intégration-3D » nous a amené à travailler plus particulièrement sur deux volets que sont l'impact économique de l'introduction de ce type de technologies et les stratégies brevets associées à l'introduction d'une innovation radicale. Comme nous l'avons vu, une des principales difficultés vis-à-vis de l'introduction d'une technologie nouvelle est de définir l'espace d'alternatives à couvrir. Pour répondre à cette problématique, nous proposons et testons sur un cas d'étude une méthode permettant de construire des portefeuilles brevets robustes. Cette partie constitue la troisième et dernière facette de cet acteur 'recherche avancée' dont nous essayons de construire et forger l'image.

### 4.3 LES DIFFERENTS MODES DE COLLECTES DE DONNEES.

En ce qui concerne les données orales, nous avons réalisés différents entretiens en suivant un des principes lié à la recherche intervention qu'est l' « investigation prospective » (David 2000) où il s'agit moins de réaliser des questionnaires structurés que de mener une « enquête » par rapport à nos questions de recherche. Au-delà des entretiens, nous avons participé en tant qu'observateur à différentes présentations scientifiques et sessions de travail. La participation à différents « Minatec Crossroads », des interventions d'analystes en interne sur l'évolution des marchés et le positionnement des concurrents, l'intervention en interne des clients, nous a aidé à acquérir une compréhension plus fine de l'évolution de technologies et de leur introduction, du rôle de chaque acteur et de ses attentes vis-à-vis de la recherche avancée.

Lors de notre recherche, l'association au terrain nous a amené à avoir accès à un grand nombre de données écrites, ce qui nous a permis de caractériser, les différentes phases des activités de recherche et leur positionnement par rapport aux orientations stratégiques de la firme et des travaux menés par d'autres acteurs. Le fait d'être employé dans le cadre d'une thèse CIFRE par STMicroelectronics nous a donné accès à deux types de données écrites.

Les premières sont des productions internes qui concernent le déroulement des activités de recherches. Ce corpus est composé de thèses précédemment menées dans l'équipe de 'R&D

Avancée', de rapports de recherches, de présentations de revues de projets (qui ont lieu à différentes fréquences), de publications scientifiques et techniques pour des conférences scientifiques et des différentes demandes de brevets.

Les secondes sources sont des documents produits en externe pour différents acteurs de la firme. Ce corpus est composé de documents regroupant des études de marchés et de veilles concurrentielles sur les technologies-produits faisant l'objet de projets de recherche (des rapports de synthèse de veille concurrentielle réalisées par différents cabinets de conseil) et des rapports de synthèse de projets collaboratifs (notamment le contenu des programmes ST/LETI, des projets ANR ou Européens<sup>30</sup>). La relecture et l'analyse de ces différents documents nous a amené à la fois à caractériser les travaux de recherche, l'évolution des objets conçus et les raisonnements de conception associés.

Un troisième volet porte sur la participation à l'exploration qui s'est déroulée en plusieurs temps. Dans un premier temps, elle a consisté à tester les apports de la théorie de la conception innovante pour éclairer autrement les travaux de recherche. Nous avons aussi procédé à l'utilisation d'outils proposés par la littérature (métriques et indicateurs), pour montrer leurs limites en ce qui concerne le pilotage des activités de recherche avancée. Enfin, la participation à un projet ANR (3D-IDEAS<sup>31</sup>) sur l'intégration des capteurs d'image CMOS en 3D, nous a amené à être confrontés à l'exploration de nouveaux espaces de conception et leurs enjeux.

Le double regard d'ingénieur et de chercheur en gestion nous a permis de jouer un rôle actif au sein de l'équipe de recherche nous nous rapprocherons dans ce sens de la figure de «l'ingénieur-chercheur» proposé par (Chanal, Lesca and Martinet 1997). A travers ce rôle d'accompagnement, nos interventions ont contribué à diffuser de nouvelles pratiques. L'approche méthodologique a consisté à proposer des principes de gestion différents et de nouveaux raisonnements pour instruire les activités de recherche. **Deux résultats concrets sont issus de la modélisation, tout d'abord la conception d'un ensemble d'outils adapté au pilotage des activités de recherche, cette instrumentation a conduit au dépôt de cinq brevets d'invention au cours de l'intervention.** D'autre part, notre regard externe de chercheur nous a amené à anticiper certains effets pervers des outils classiques (comme les limites de l'évaluation financière amont des activités de recherche) et d'envisager des réponses adaptées à travers le développement d'indicateurs spécifiques.

#### 4.4 INSTANCE D'INTERPRETATION ET DE CONTROLE DE PRODUCTION DE CONNAISSANCES.

La validité académique de nos résultats et de nos approches a pu être vérifiée grâce à différentes présentations. Tout d'abord lors de conférences internationales en 2009 et 2010, ce qui nous a permis de tester nos hypothèses par rapport à la communauté internationale et d'engager des discussions sur les modèles développés et les points à étayer (que ce soit le positionnement par rapport à l'état de l'art ou l'exploitation de données empiriques), les commentaires judicieux des présidents de session nous ont permis d'enrichir les parties concernant les notions de « desorption » (ou la capacité de la recherche à réviser des règles de conception et stimuler la

<sup>30</sup> Notamment du FP6 (Framework Program 6)

<sup>31</sup> 3D Integration and DEsign technology for imager Applications and Systems

production de connaissance) et l'impact de cette production de règles (dans le cadre de renouvellement de plateformes). Ces différentes présentations nous ont permis de préciser certaines notions et de tester la robustesse des hypothèses formulées. Nous avons aussi engagé différentes discussions avec l'ensemble des chercheurs du Centre de Gestion Scientifique, lors du séminaire du programme ANR RITE<sup>32</sup> ou des séminaires doctoraux de Janvier 2009 et Janvier 2010, ce qui nous a permis de confronter nos théories à celles développées autour de problématiques adjacentes et de compléter notre corpus bibliographique.

En ce qui concerne « l'actionnabilité » de nos résultats, différentes présentations de nos travaux de recherche ont été réalisées auprès de membres opérationnels et de différentes directions de STMicroelectronics. Elles nous ont permis de nous assurer de la pertinence des recherches menées par rapport aux activités liées à la recherche (contrôle de gestion, organisation et PMO, marketing avancée). En effet, nous avons mis en place des comités de pilotage de thèse dont la fréquence régulière (six comités de pilotage au total, soit un tous les cinq mois en moyenne) a amené à vérifier la pertinence des théories établies et échanger à la fois sur l'interprétation des pratiques observées par rapport aux projets de recherche, les grilles de lectures et les outils associés. Nous avons enfin présenté une synthèse de nos travaux lors de la « journée des experts » qui a eu lieu pendant la première semaine de l'innovation sur le site de Crolles (regroupant une soixantaine d'experts). La filière « expert » est une des trois filières métiers sur le site de Crolles. Cette présentation nous a permis de discuter de l'utilisation de la théorie C-K et des outils dérivés de la théorie de la conception innovante pour le pilotage et l'évaluation des projets de recherche. L'ensemble de ces contacts et échanges ont favorisés la généralisation de nos résultats de recherche et leur appropriation par les acteurs terrain.

#### 4.5 PRINCIPAUX RESULTATS DE THESE

En conséquence, les résultats obtenus de ces travaux de recherche se lisent selon deux axes que sont :

- 1- La proposition d'une théorie de la « recherche avancée » pour préparer les ruptures, que l'on peut relire selon trois dimensions que sont : son rapport à l'éco-système, son rôle vis-à-vis des futures générations de produits et enfin son positionnement par rapport aux questions de propriété industrielle.
- 2- La définition de nouvelles pratiques : la nature des questions de recherches explorées nous ont permis de construire progressivement une doctrine sur cet acteur en définissant les instruments de pilotage qui lui sont associés.

Nous résumons l'ensemble de ces éléments dans le tableau récapitulatif ci-dessous :

---

<sup>32</sup> Régimes de Conception – R&D, Innovation et Transformation des Entreprises

	<b>Partie 1</b>	<b>Partie 2</b>	<b>Partie 3</b>
<b>Questions de recherche</b>	La Recherche avancée peut-elle s'interpréter sous la forme d'une « Capacité d'Absorption »?	Comment interpréter/évaluer la valeur des connaissances produites par la 'Recherche avancée'?	Comment la 'Recherche avancée' génère une 'capacité brevet' en situation d'innovation Radicale?
<b>Méthodologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recherche intervention.</li> <li>- Modélisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modélisation.</li> <li>- Simulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recherche intervention.</li> <li>- Méthode.</li> </ul>
<b>Résultats Académiques</b>	Distinction entre 'Capacité d'absorption' dite 'Epistémique' (pour les projets en conception réglée), une 'Capacité d'absorption Conceptuelle' (pour les projets de conception innovante).	La Recherche avancée comme capacité de production de règles de conception (liées à l'inconnu plutôt qu'au connu).	Méthode « C-K Invent » dérivée des théories de la conception innovante et C-K basée sur: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Proto-sémantique.</li> <li>- Proto-syntaxe.</li> <li>- Exhaustivité.</li> </ul>
<b>Terrain de recherche</b>	Travail de recherche sur les « capteurs CMOS intégrés 3D »	Travail de recherche sur les « capteurs CMOS intégrés 3D »	Recherche avancée « 3D-Integration »
<b>Résultat Industriels et implications managériales</b>	Proposition d'une grille de lecture et d'un nouveau cadre d'interprétation des projets de recherche selon trois dimensions: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Règle de conception révisées.</li> <li>- Nature des connaissances mobilisées.</li> <li>- Nature de la stimulation de l'écosystème.</li> </ul> Une étude de cas prospectif (TSV et effet Seebeck)	Un modèle économique permettant d'explicitier le rôle de la recherche avancée.  De nouveaux indicateurs pour instruire des logiques de renouvellement de plateformes.	Méthode « C-K Invent ». <ul style="list-style-type: none"> <li>15 brevets déposés par l'équipe « 3D-Integration » (Oct. 2008 - Dec. 2009).</li> <li>5 brevets déposés pendant nos travaux de thèse.</li> <li>Application de la méthode sur de nouveaux champs de recherche permettant de paver des champs d'innovation.</li> </ul>

La structure de notre deuxième partie de thèse est à distinguer en trois volets :

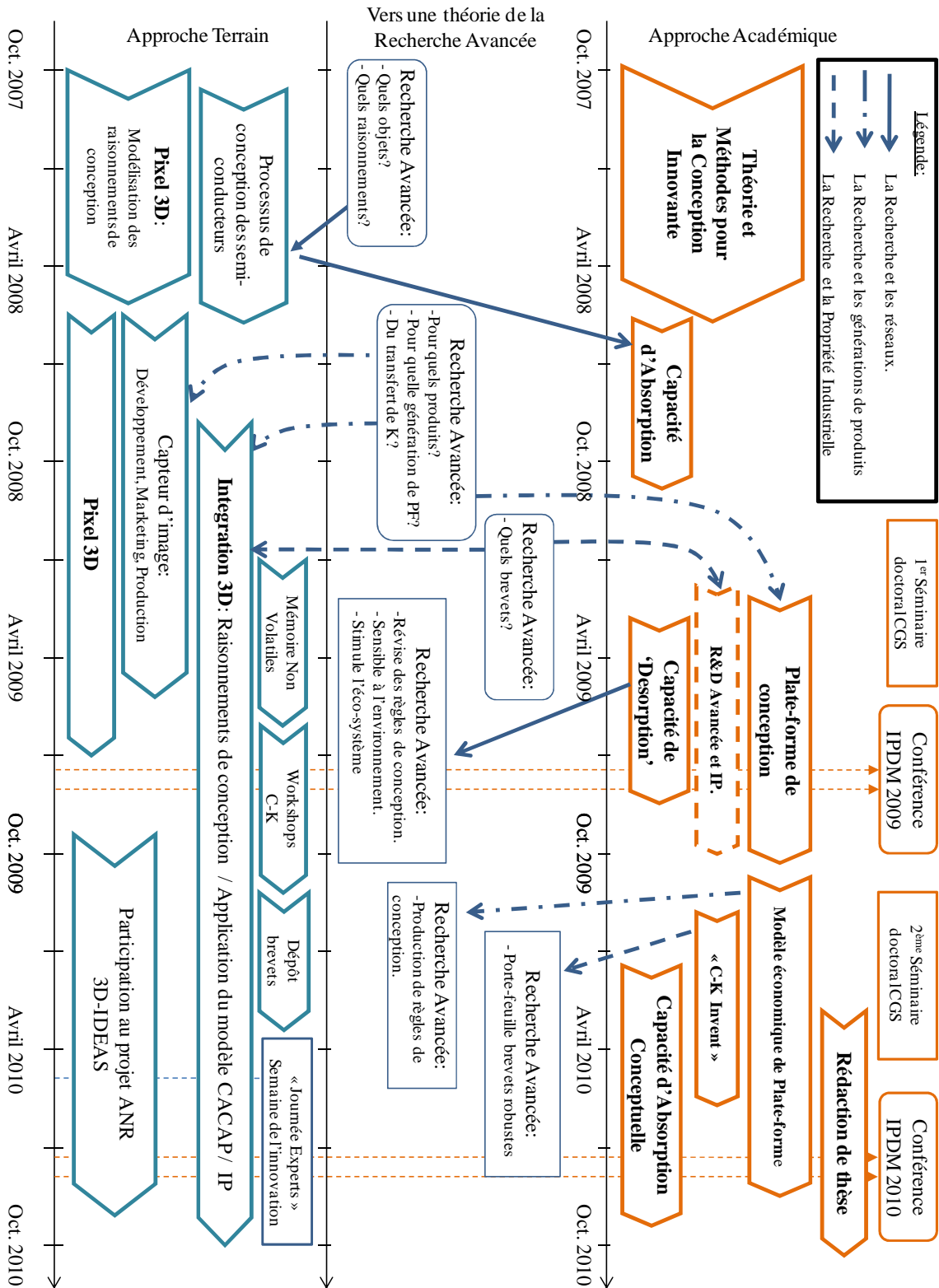
- Le premier porte sur une compréhension fine des raisonnements de conception dans le cadre d'une activité de recherche spécifique, qui permet de relire le rôle de la recherche vis-à-vis de son réseau et de rediscuter la notion de « capacité d'absorption ».

- Dans un second temps, nous modélisons le rôle économique des activités de recherche comme une fonction de conception, ce qui permet d'enrichir le répertoire des stratégies de renouvellement de plateformes de produits.

- Enfin, à travers la relecture d'une étude de cas, nous proposons une méthode permettant de construire des portefeuilles de brevets robustes dans le cadre de l'introduction 'd'innovations radicales' ou de la réalisation de travaux de recherche en rupture.

Pour mieux expliciter les principes que nous avons suivis et notre souci de modélisation constant par rapport à des observations terrain et des théories de différents niveaux, nous présentons dans un schéma de synthèse ci-dessous l'ensemble de la démarche qui nous a permis d'élaborer notre théorie (vision) de la recherche-avancée.

4.6 PARCOURS DE RECHERCHE : VERS UNE THEORIE DE LA RECHERCHE POUR LA RUPTURE





## 5 PRINCIPAUX RESULTATS DE NOS TRAVAUX DE RECHERCHE.

### 5.1 UNE NOUVELLE FORME DE CAPACITE D'ABSORPTION POUR LA RECHERCHE DE RUPTURE

#### 5.1.1 Eléments d'expérimentation

Dans un premier temps nous nous sommes intéressés à un sujet particulier relatif aux « capteurs d'images ». Ce type de capteur constitue une des dimensions de l'approche «*More than Moore*», car de manière assez surprenante une de leurs particularités est d'exploiter l'effet photo-électrique à partir de technologies CMOS classiques sur silicium<sup>33</sup> pour y adjoindre une fonctionnalité particulière : capter la lumière. De plus, cette technologie constitue une des « success stories » de STMicroelectronics, ce produit phare est devenu indispensable pour plusieurs types d'applications, notamment les applications nomades comme les téléphones portables où un des principaux clients de STMicroelectronics est Nokia. Enfin au début de nos travaux de recherche, le capteur d'images CMOS (et plus particulièrement le pixel) faisait l'objet d'un travail de recherche exploratoire qui consistait à réviser entièrement l'architecture du pixel classique (Coudrain 2009). Ce travail de recherche s'inscrivait dans la lignée de « roadmaps » technologiques/produit. Celles-ci sont caractérisées par un principal objectif qui est la réduction de la taille des pixels au fur et à mesure de chaque génération pour augmenter la résolution des capteurs. Ce travail avait donc pour but de définir ce que pourrait être les futures générations de pixel. Ainsi, depuis leur invention, les capteurs d'images se sont énormément complexifiés, ont fait l'objet de grandes explorations technologiques et au fur et à mesure des générations, ce type de capteur s'est différencié des technologies CMOS traditionnelles pour acquérir des caractéristiques spécifiques. L'ensemble de ces éléments nous ont amené à nous intéresser de plus près à cet objet pour comprendre les dynamiques relatives aux technologies et leurs applications.

Pour retracer l'évolution de l'identité de l'objet capteur d' « image CMOS », nous nous sommes dans un premier temps basés sur l'évolution du type d'étapes introduites dans le flux de fabrication d'un capteur d'images. Nous avons repris les 250 étapes du flot de fabrication pour, dans un premier temps, distinguer deux familles de procédés : celles liées aux étapes CMOS et celles liées à l'optique. Ceci nous a permis d'avoir une première idée de la répartition des procédés de fabrication entre ce que nous pourrions qualifier de « CMOS-like » d'une part et « Imager-specific » d'autre part. Cette première approche nous a amené à identifier l'impact des connaissances introduites au fur et à mesure des différentes générations de plateformes, nous avons donc pu tracer l'évolution de l'identité des objets conçus. Nous pouvons donc considérer qu'elle rend compte d'une certaine manière de l'évolution de l'identité de l'objet fabriqué (capteur d'image CMOS). Nous pouvons relire cette évolution en figure 1.25 où nous représentons sur différentes génération (GN) de « capteurs d'images », l'évolution de la répartition des étapes CMOS et IMG pour « imager » (ce sont les étapes spécifiques aux caractéristiques optiques des capteurs). Nous distinguons pour ces capteurs trois types d'architectures :

---

<sup>33</sup> Ce qui value le prix Nobel 2009 de physique aux inventeurs du capteur CCD Willard S. Boyle and George E. Smith (invention résultant de leurs travaux de recherche au sein des Bell Laboratories en 1969)

- l'architecture FSI pour « *Front-Side Imaging* » qui est l'architecture classique de ces capteurs pour les générations GN,
- le BSI pour « *Backside Imaging* » (qui correspond à une nouvelle approche introduite en 2006 par les équipes de recherche) pour la génération suivante.
- l'architecture 3D qui a fait l'objet d'activités de recherche avancée et qui a pour but de préparer les règles de conception pour les générations de capteurs à venir

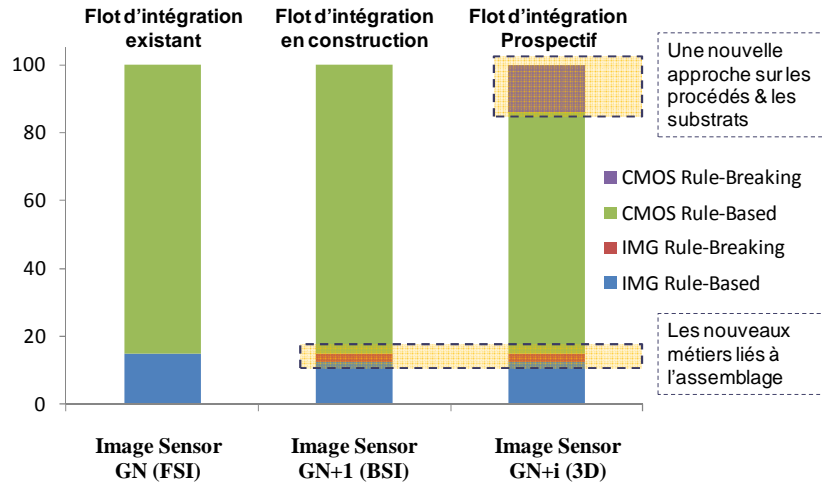


Figure 1.25 : Evolution de l'identité de l'objet et flux de connaissances - Le cas des capteurs d'image.

Pourtant, une des limites que l'on peut formuler est que cette première approche ne rend pas compte des efforts de conception réalisés. En effet, la quantification en nombre d'étape ne traduit pas les efforts de R&D consentis et les raisonnements suivis pour déterminer le type de connaissance à introduire.

Pour comprendre cette dynamique des capteurs construits sur des technologies CMOS et la manière dont cette technologie s'éloigne progressivement du cœur CMOS, nous avons réalisé une analyse assez fine du contexte général et en particulier de l'activité de recherche avancée : ce qui a mis en évidence les raisonnements de conception mis en œuvre. Ainsi, la visualisation des différentes alternatives de conception, leur hiérarchisation et notre analyse est basée sur une modélisation C-K assez fine. Ceci nous a amené à différencier les activités de développement des activités de recherche avancée et décrire chacune des logiques de conception. Ce premier travail nous a permis de nous familiariser avec les technologies et les dynamiques présentes dans l'industrie des semi-conducteurs mais aussi de comprendre comment étaient instrumentés les choix de conception. La distinction sur différentes générations de capteurs de l'héritage issu du CMOS et l'héritage des capteurs d'images<sup>34</sup> est donc mise en valeur par cette modélisation C-K.

Un de nos premiers résultats est donc une modélisation C-K (représentée par le pattern de la figure 1.26) qui nous permet de requalifier le rôle de cette recherche avancée. En effet, on peut différencier des logiques de développement (basée sur de l'optimisation ou « fine-tuning ») des

<sup>34</sup> Nous ne présenterons dans cette partie que l'interprétation de la modélisation C-K, la modélisation elle-même se trouvant dans la monographie relative à ce cas d'étude (Partie 3)

approches de recherche avancée basées sur des logiques de débroussaillage et d'élagage d'alternatives technologiques.

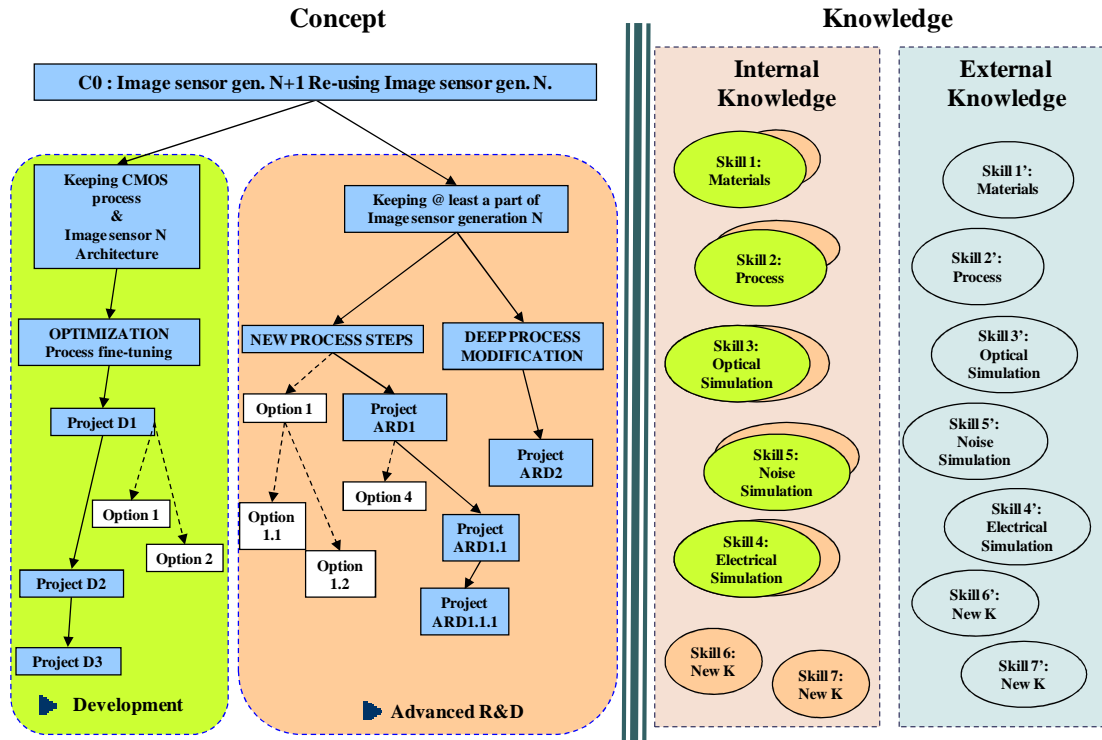


Figure 1.26 : « Pattern » de la modélisation C-K « capteur d'image ».

Dans un second temps, nous avons identifié un « *pattern* » particulier à cette modélisation (cf. Figure 1.27) basé sur une notion spécifique qu'est celle d' « **hérité** » où les alternatives qui consistent à conserver des règles de conception sont à distinguer de celles qui consistent à les réviser. Chacune de ces alternatives renvoie à des structures organisationnelles différenciées, nous avons ensuite distingué le type de connaissances mobilisées (externes à l'organisation où internes), pour commencer à instrumenter la notion de 'capacité d'absorption'. L'une des premières conclusions à laquelle nous sommes arrivés est qu'il existe deux types de relations aux bases de connaissances. Dans la première, les règles de conception sont stabilisées et conservées : approche que nous appelons « Rule-Based ». Dans la seconde elles sont révisées, nous appellerons cette approche « Rule-Breaking ».

Cette approche nous permet de conclure sur la transition entre différents schémas « Rule-breaking / Rule-based » que nous représentons dans la Figure 1.28, sur deux dimensions que sont le CMOS (composant classique de l'industrie semi-conducteurs) et le capteur d'image. Nous pouvons associer deux interprétations à cette matrice : la première tentation serait de rester en haut à gauche afin de conserver et exploiter des règles pré-existantes, mais la vitesse de succession de génération de capteur fait que l'approche « Rule-Based (CMOS) » / « Rule-based (Capteur d'image) » ne tient pas sur le long terme. La seconde interprétation serait liée à la gestion de portefeuille classique qui nous indiquerait qu'il faudrait avoir des points (représentant des activités de R&D) sur chacun des quadrants de cette matrice. Néanmoins, cela n'indiquerait

pas les inter-dépendances entre approches ou comment le « Rule-Breaking » devient « Rule-Based ».

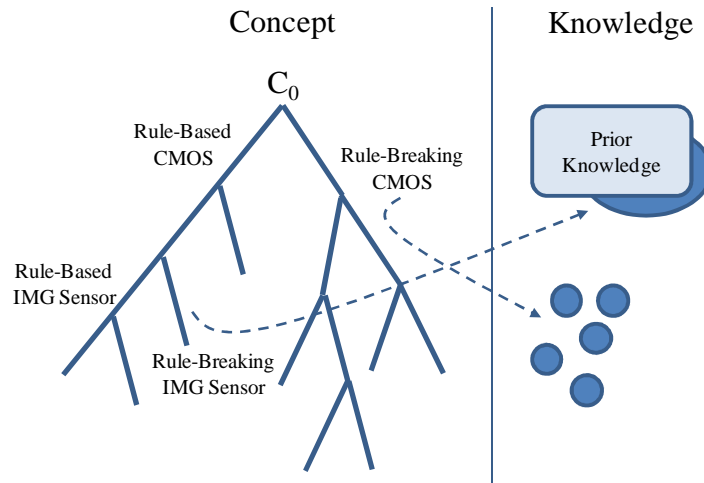


Figure 1.27 : Interprétation du « Pattern » C-K en approche Rule-based / Rule-breaking.

Nous identifions donc dans cette matrice une écologie des voies d'innovations qui sont les vecteurs de la régénération des règles de conception, ce que nous pouvons relire de la manière suivante : la recherche avancée travaille sur des projets en rupture à la fois sur les aspects CMOS et capteurs d'images classiques alors que les projets de développement travaillent sur des approches en conception réglée. Au fur et à mesure du renouvellement des générations technologiques, la révision des règles de conception est de plus en plus intrusive par rapport au cœur CMOS qui permet de réaliser chacune des générations de transistors. Ainsi le « rule-breaking » apparaît successivement sur la dimension « IMG » puis « IMG et CMOS ». On retrouve ainsi des logiques de générations basées sur un concept du type : « concevoir la prochaine génération de capteur d'image en exploitant le maximum des connaissances produites sur les générations précédentes de capteurs d'images et de cœur CMOS ».

		Image Sensor	
		Rule-Based	Rule-Breaking
CMOS	Rule-Based	Capteur d'image $G_{N-1}$ Capteur d'image $G_N$	Capteur d'image « Backside »
	Rule-Breaking	Non inclus dans l'étude	Recherche Avancée Capteur 3D à base de 3D PIXEL

Figure 1.28 : « Conception Réglée » et « Conception Innovante » - Le cas des capteurs d'image.

### 5.1.2 Apport académique:

Distinction entre capacité d'absorption « épistémique » et « conceptuelle ».

Comme nous l'avons vu précédemment, la capacité d'absorption caractérise la membrane existante entre, d'une part, les connaissances externes et, d'autre part, leur valorisation en innovation. Ce travail nous a amené à rediscuter la notion de « capacité d'absorption » qui consiste à identifier la valeur de connaissances externes pour les acquérir, les exploiter et les valoriser en innovation (Cohen and Levinthal 1990). **Le principal apport académique de nos travaux de recherche a consisté à distinguer les notions de capacité d'absorption épistémique et conceptuelle.** La première est propre aux activités de recherche de conception réglée, elle s'appuie sur des projets où les champs de recherche et métiers sont structurés et les réseaux de partenaires identifiés. Pour ce type de capacité d'absorption la production de nouvelles connaissances doit être compatible avec des règles de conception préexistantes et l'on a essentiellement des opérateurs de  $K \leftarrow \rightarrow K$  entre les acteurs externes et internes.

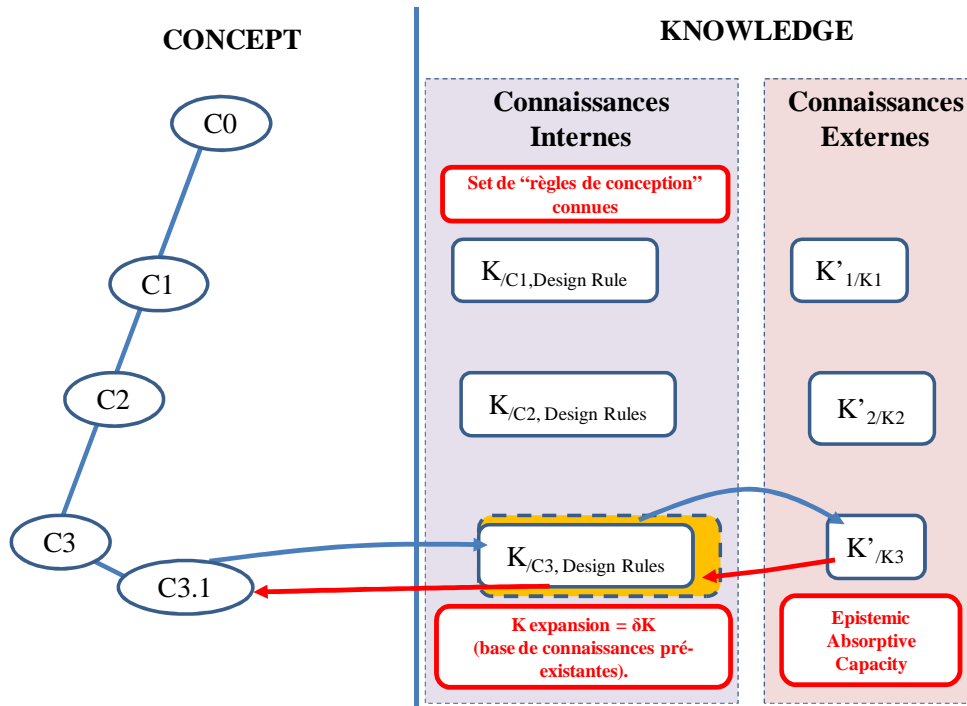


Figure 1.29 : Interprétation de l'Epistemic Absorptive Capacity par une modélisation C-K.

Alors que le premier type de capacité d'absorption s'appuie sur des champs de recherche déjà structurés, la seconde (la capacité d'absorption conceptuelle) est spécifique aux projets de recherche en rupture où l'un des enjeux est d'organiser la « pêche aux connaissances ». Comme nous le détaillons dans notre Chapitre 1 de la Partie 2 consacré à « la recherche et les réseaux », la capacité d'absorption conceptuelle s'appuie sur une capacité de « desorption » qui consiste à s'affranchir de connaissances pré-existantes pour explorer de nouveaux espaces de conception. Cette capacité, que nous représentons en C-K en figure 1.24 comporte trois activités que sont :

- 1- Une capacité de « desorption », c'est-à-dire à réviser des règles de conception, appelée « rule-breaking »;

- 2- Le pré-positionnement par rapport à des connaissances émergentes que nous qualifions de « *Hooks* » ;
- 3- La stimulation de l'éco-système à produire des règles de conception rapidement réintégrables dans le processus de conception que nous appelons « *eco-system stimulation* ».

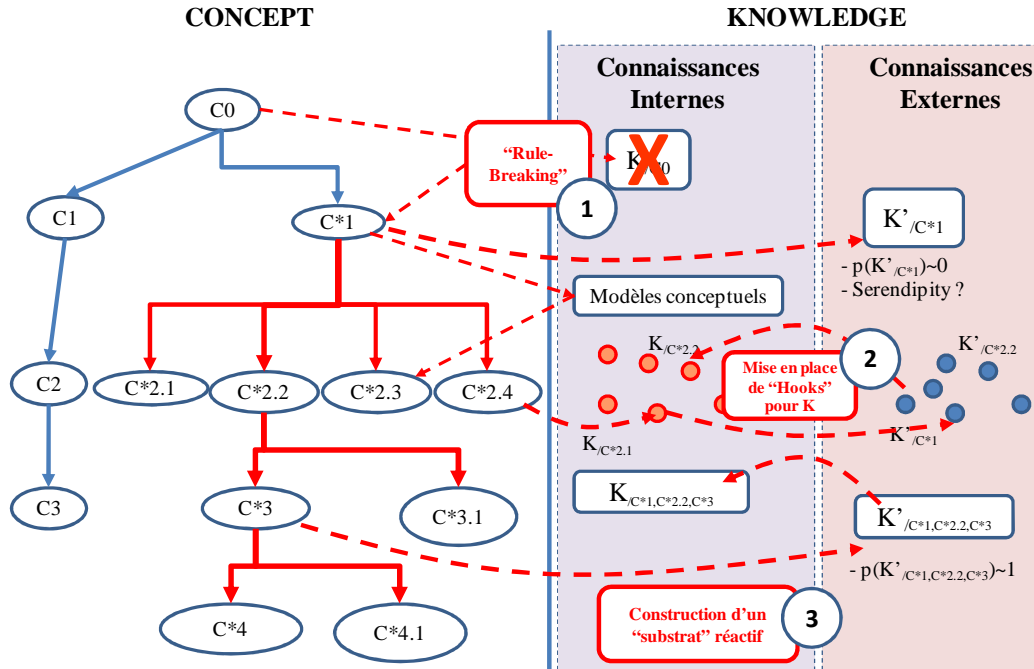


Figure 1.30 : Interprétation de la « Conceptual Absorptive Capacity » par une modélisation C-K.

Alors que d'habitude on peut penser que l'élément le plus délicat est d'être « sensible aux signaux faibles » de l'environnement, la « capacité d'absorption conceptuelle » s'appuie sur deux autres phases tout à fait critiques. C'est tout d'abord la révision de règles de conception, qui permet de se « dé-fixer » de connaissances pré-existantes. C'est ensuite la stimulation et l'activation de production de connaissance auprès de partenaires externes. A travers la notion de « *Hook* » (ou point d'accroche pour les bases de connaissances), ce que nous essayons de décrire, c'est une capacité à attraper les connaissances dans l'environnement (ou plus communément appelé 'bruits faibles'). L'enjeu pour les concepteurs par rapport aux « *Hooks* » est de prouver qu'il existe des laboratoires externes qui travaillent sur les thématiques et les effets définis. A cette étape du raisonnement de conception, l'enjeu est de reconstituer le potentiel du concept formulé en caractérisant à la fois la structure de la base de connaissance et son évolution. Ceci amène à construire une cartographie des ensembles de connaissances modélisées sous forme d'îlots, dont la structure guide les choix de conception. A chaque étape du raisonnement, on peut donc décrire et suivre l'évolution de la structure des éléments dans cette cartographie des connaissances. Les voies majeures empruntées par l'environnement constituent des attracteurs dans le sens où la valeur est déjà plus ou moins identifiée et des voies de conception ont déjà commencé à être explorées. Néanmoins, la « bonne » situation consiste à identifier des voies originales où il y a suffisamment d'acteurs pour en assurer l'exploration (comme des laboratoires publics de recherche ou des start-ups), mais pas non plus en concentration trop élevée afin de préserver un potentiel de valeur pour l'entreprise.

### 5.1.3 « Conceptual Absorptive Capacity » à l'épreuve : application et cadre d'évaluation

Ces travaux de thèse permettent d'élaborer un premier cadre d'évaluation des projets de recherche de rupture. Pour tester le cadre théorique que nous proposons et définir en quoi celui-ci est transposable, nous avons entrepris des expérimentations additionnelles. Ceci nous a permis à la fois de tester la robustesse des hypothèses que nous avons formulées pour identifier les éléments d'évaluation que l'on pouvait y associer, mais aussi de tirer les enseignements plus génériques vis-à-vis des activités de recherche avancée liées à des approches en rupture. Nous avons réalisé une série de formation liée à ce cadre et cherché à appliquer cette notion à d'autres organisations de la recherche avancée notamment sur les cas des « Mémoires Non Volatiles » ou de « références de temps »<sup>35</sup>. Dans ce premier cas, nous sommes revenus sur les raisonnements de conception pour identifier quelles sont les différentes alternatives qui sont explorées, les connaissances produites et le statut que l'on peut associer à chacun des concepts. Ceci nous a permis de reconstituer les logiques de générations technologiques et de caractériser les approches en rupture en retrouvant le même type de « *pattern* » de modélisation C-K que celui présenté en (figure 1.25) basé sur une notion d' « hérédité » entre générations technologiques. L'application du cadre relatif à la notion de Capacité d'Absorption Conceptuelle au cas des Mémoires Non Volatiles nous a amené à mettre en relief différents points. Le premier qui est assez direct, est que la notion de « *hook* » (rester sensible aux bruits faibles) est partagée par l'ensemble des concepteurs, qui se rendent régulièrement en conférence et publient des articles dans des journaux de rangs mondiaux. Par contre, nos études révèlent qu'il est très difficile de faire du dé-sorptif, c'est-à-dire, à la fois de libérer « le substrat » de connaissance pré-existantes mais aussi et surtout de stimuler la production de connaissance en externe, ce qui expliquait en partie l'arrêt prématuré de certaines voies d'exploration. Dans le paragraphe suivant, nous revenons sur les leçons retirées d'une autre expérimentation que nous appellerons le cas des TSV thermiques et qui résulte de notre recherche-intervention.

#### *Le cas des TSV ou Via Thermiques.*

Comme nous l'exposons dans la partie monographique dédiée à l' « intégration 3D », cette approche initiée au sein de la recherche avancée a amené à considérer une nouvelle brique technologique appelée TSV pour « *Through Silicon Via* » et qui consiste à réaliser un « via » (ou plus simplement un trou), i.e. une interconnexion électrique à travers le substrat de silicium. Celle-ci a pour principale fonction d'assurer la communication électrique entre différents composants superposés. Nous nous sommes donc rapidement penchés sur de nouveaux concepts pour enrichir l'espace fonctionnel de ce type de composants. Nous vous proposons d'analyser notre processus de conception selon les trois points précédemment cités, à savoir, la révision des règles de conception ou « *Rule-Breaking* », le pré-positionnement par rapport à des connaissances externes (l'utilisation de « *hooks* ») et enfin la stimulation de l'éco-système pour produire des connaissances.

---

<sup>35</sup> Technologies plus communément appelées BAW pour (Bulk Accoustic Wave) qui sont des résonateurs à base d'éléments piezo-électriques.

**1<sup>er</sup> point** : Révision des règles de conception. Alors qu'une grande partie de la compétition entre les firmes se joue sur la réalisation de TSV permettant de réaliser des « interconnexions électriques », nous décidons d'enrichir ce concept en proposant des TSV qui permettraient de gérer différents flux. Dans le formalisme de la théorie C-K, notre concept initial  $C_0$  est de la forme : une intégration-3D qui permettrait de gérer plusieurs flux. Parmi les flux intéressants, les flux thermiques (et l'échauffement par effet joule) sont connus comme étant une des principales contraintes du comportement des circuits intégrés<sup>36</sup>. En effet, la dissipation thermique et les flux de chaleur sont un des phénomènes critiques à gérer. Nous nous sommes concentrés sur les différents modèles de gestion des effets thermiques en internalisant la gestion de cet effet par les structures conçues.

**2<sup>nd</sup> point** : Identification des « Hooks ». Dans notre cas, cette phase consiste à dresser un rapide état de l'art des connaissances émergentes dans l'écosystème sur les différentes approches qui permettent de gérer les effets thermiques. A ces approches, on associe le type d'acteur (grand groupe, start-up, laboratoire institutionnel), et le type d'activité à ces alternatives (ce qui permet de dresser un état de maturité des technologies proposées). On retrouve dans notre cas par exemple les projets d'IBM avec ETH-Zürich sur le « micro-cooling », les travaux du LITEN sur les capteurs thermiques, des projets collaboratifs du type THERMAESCAPE et des start-up comme NEXTREME, qui pour chacun d'eux explorent des voies différentes pour gérer les effets thermiques dans des composants élaborés sur semi-conducteurs.

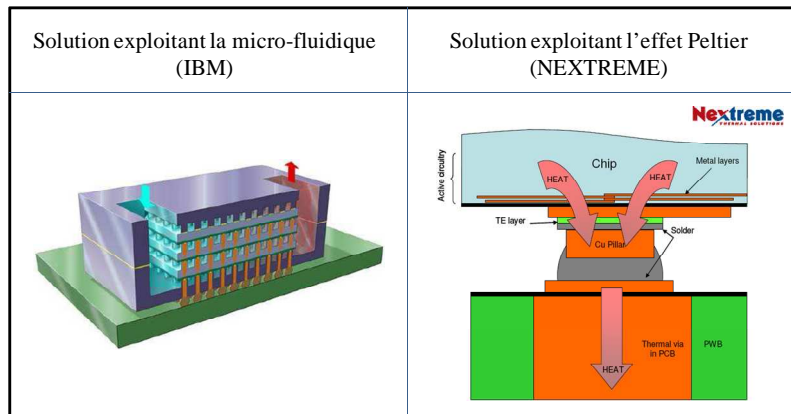


Figure 1.31 : Exemple de « Hook » pour la gestion des effets thermiques de circuits intégrés.

Notre étude de l'état de l'art nous a amené à la conclusion que la majorité des acteurs de l'éco-système travaillent sur des notions de « dissipation » de chaleur : la dissipation thermique des composants étant liée à la consommation d'énergie, les principales voies de conception cherchent à gérer la consommation énergétique des composants de manière dynamique. Par contre, peu d'entre eux travaillent sur des notions de « transduction » (essentiellement des start-ups et des laboratoires de recherche), ce qui en justifie l'exploration. Ayant identifié des éléments associés à la valeur de ce concept, qualifié des éléments liés à sa faisabilité et le dimensionnement

<sup>36</sup> Les effets thermiques sont particulièrement critiques pour le comportement de circuit intégrés où les densités de puissance dissipées peuvent être de l'ordre de plusieurs dizaines de Watts ! Pour plus de détails sur ce comportement, on pourra se reporter à l'article IEEE Spectrum intitulé "Better Computing Through CPU Cooling, Heat can be a CPU's worst enemy, but new chip designs and materials can keep them cool" téléchargeable sur: <http://spectrum.ieee.org/semiconductors/materials/better-computing-through-cpu-cooling/0>



de l'architecture envisagée, nous procédons à la protection de notre idée par un dépôt de brevet (Felk and Farcy 2009). Pour finaliser l'utilisation du cadre proposé (*Conceptual Absorptive Capacity*), il nous reste un point essentiel à valider qui est la stimulation de production de connaissance en externe.

**3<sup>ème</sup> point** : Le dernier point porte sur la stimulation du milieu et de l'écosystème pour produire des connaissances. Le lancement d'un projet collaboratif est conditionné dans notre cas à la perspective d'une exploitation industrielle/applicative des résultats du projet de recherche voir même par la présence d'un centre de profit ou « *Business Unit* » dans le projet de recherche. Ce mode de fonctionnement est valable si on fait l'hypothèse que l'innovation pilote la production de connaissances, c'est-à-dire que l'identification préalable d'une application provoque une production de connaissance. Or ici, c'est l'inverse même que l'on cherche à réaliser. Ainsi, la situation pouvait paraître paradoxale, puisqu'il n'y a application que s'il y a preuve de l'intérêt des connaissances produites. Ainsi, alors que la présence d'un industriel peut être déterminante pour obtenir des fonds publics, la « bonne » question aurait été de demander : jusqu'où seriez-vous prêts à aller sans promesse d'application (de façon à déployer le projet et permettre la production de connaissance sans engagement industriel) ? C'est l'effet que l'on peut retrouver dans notre premier cas d'étude consacré aux capteurs d'images. En effet le laboratoire externe déploie des projets sur la thématique alors même que la firme a décidé de ne pas y allouer de ressources, l'approche étant jugée trop originale. Ainsi, l'écosystème se charge de la production de connaissance. Ceci soulève différentes questions sur les modes de stimulations de l'écosystème et les résultats qui en découlent. Nous représentons en Figure 1.32 le modèle C-K avec le modèle « *Conceptual Absorptive Capacity* » pour interpréter le cas de l'intégration-3D pour la gestion thermique.

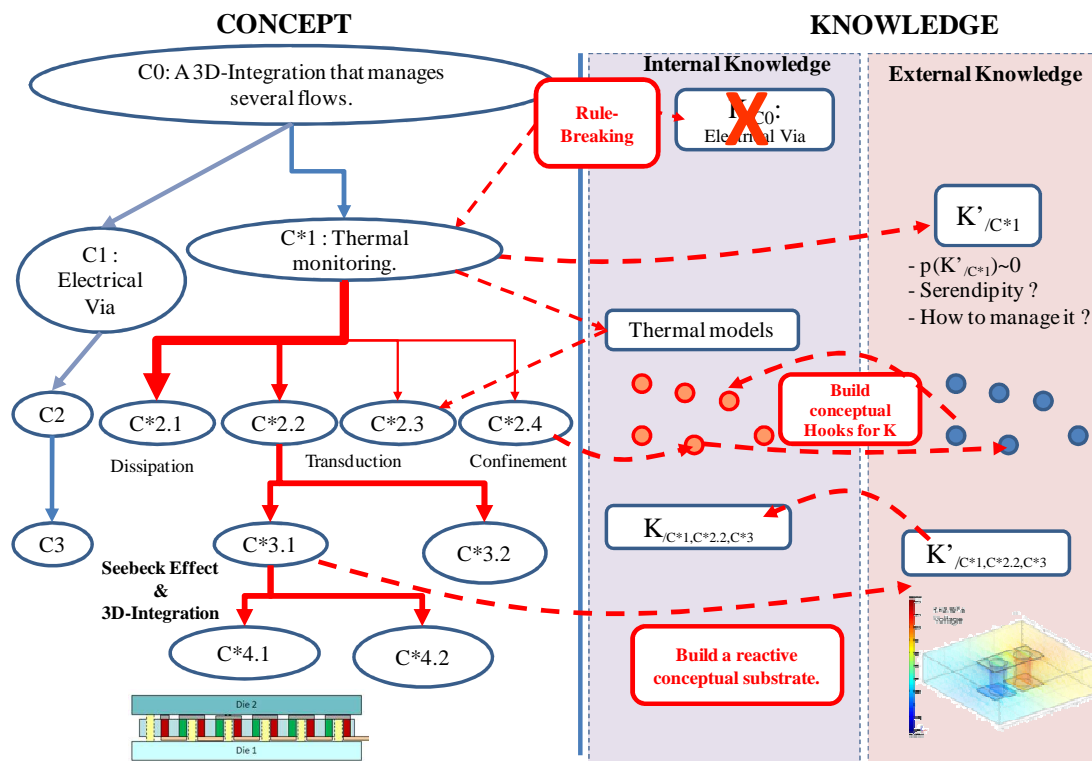


Figure 1.32 : Application du cadre « *Conceptual Absorptive Capacity* » sur un cas prospectif.

La comparaison entre le cas réalisé *a posteriori* (capteur d'image) et le cas réalisé de manière prospective nous permet de définir un premier cadre (qui reste à enrichir) pour l'évaluation de l'efficacité de la capacité d'absorption conceptuelle dont la performance (ou la qualité) sera liée à trois éléments :

- 1- L'approche par la rupture : quelles sont les règles à réviser ?
- 2- Le « *Hook-building* » : quelle est la structure des connaissances à bâtir ? Quels sont les points d'accroche auxquels il faut être sensible ?
- 3- Quelle est la définition d'une bonne stimulation de l'écosystème ?

Nos travaux permettent d'apporter des éléments de réponses à ces trois aspects qui caractérisent les logiques de performance de la 'capacité d'absorption conceptuelle'. C'est une stimulation où le laboratoire de recherche partenaire décide de continuer à explorer la voie identifiée alors même que la recherche avancée décide d'arrêter son exploitation. Néanmoins cela suggère de contrôler la production de connaissance externe pour assurer son intégration rapide par rapport à un flot de conception interne.

L'ensemble de ces éléments nous permettent de montrer en quoi, **la « capacité d'absorption conceptuelle » est un cadre d'analyse qui nous a aidé à identifier des points de passage obligatoires pour les projets de recherche de rupture. Nous avons donc identifié trois « Milestones » :**

- Révision des règles de conception,
- Pré-positionnement par rapport à des connaissances émergentes,
- Stimulation de l'écosystème pour produire des connaissances

A chacun de ces « *milestones* », nous avons associé des critères de performance : degré de généralité de la règle révisée, type de connaissance à mobiliser et type de partenariat à envisager pour que la connaissance produite soit rapidement réintégréable.

## 5.2 LA RECHERCHE AVANCEE ET LE RENOUVELLEMENT DES PLATEFORMES ET COMPETENCES.

### 5.2.1 Le positionnement des activités de recherche avancée : une question de générations

Les produits issus de technologies basées sur des capteurs d'images reposent sur une notion de génération et font l'objet de « feuilles de route ». Ces « Roadmaps » de produits (figure 1.33) sont qualifiées selon deux axes que sont : la résolution des capteurs et leur distribution selon différentes fenêtres de temps. Du fait de l'exploitation d'effets de mutualisation sur des familles de produit, ceux-ci sont réalisés sur la base de plateforme technologique. Ainsi chaque famille de produits est distribuée sur une plateforme qui permet de préciser l'espace fonctionnel couvert.

Lorsque nous nous sommes intéressés au lien entre recherche avancée et génération de produits nous avons été amené sur un cas d'étude particulier (les capteurs d'image CMOS) à reprendre les logiques de générations pour positionner les activités de recherche avancée par rapport au développement et montrer en quoi les profondeurs de champs visées étaient différentes.

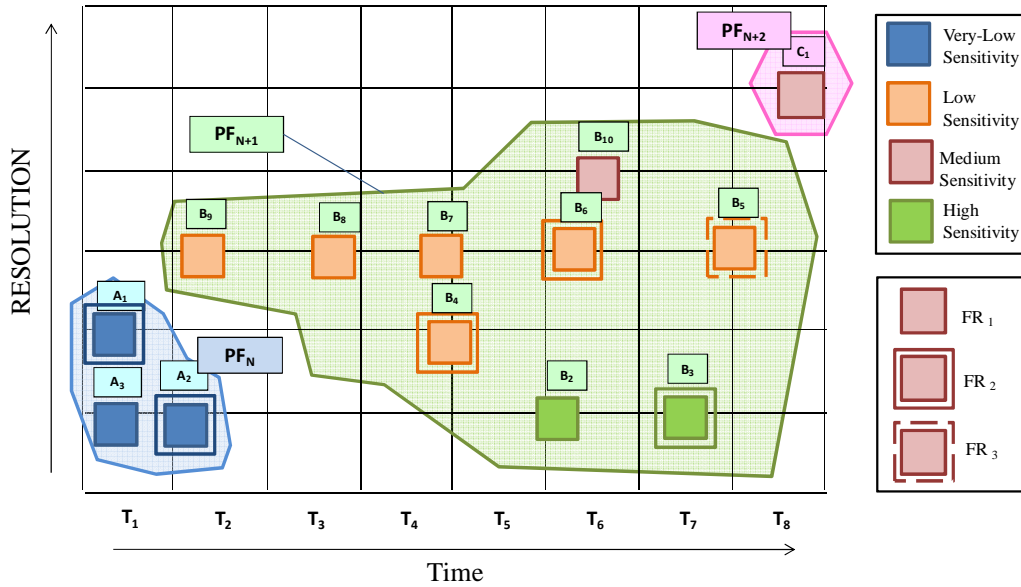


Figure 1.33 : « Roadmap » produit et espace fonctionnel - Le cas des capteurs d'image.

Nous sommes rapidement revenus sur les raisonnements de conception pour interpréter des rendements dynamiques et statiques, ce qui nous a permis de comprendre en profondeur **la notion de répétition**. Alors que la représentation classique d'une conception basée sur une plateforme est basée sur une distribution d'investissement dans le temps, les praticiens sont souvent amenés à concevoir la plateforme de conception en même temps que le premier produit. Ceci est particulièrement le cas dans des industries basées sur la chrono-compétition<sup>37</sup>, où l'enjeu est simultanément de concevoir, développer et atteindre des rendements de production pour une plateforme. Un des enjeux ensuite sera d'assurer la pérennité de la plateforme sur plusieurs types de produits. Cette pérennité a deux dimensions que sont : son étendue en terme de produits (fonctionnalités ou segments de marchés couverts), et sa durée dans le temps (le nombre de génération de produits réalisables).

Nous sommes enfin revenus sur les arbitrages entre plateforme et l'espace fonctionnel atteignable par le cœur de plateforme pour montrer en quoi **la question du changement de plateforme est particulièrement critique**. Pour cela, nous avons cherché à appliquer les indicateurs de Meyer pour montrer leur limite et ce qu'ils indiquent comme effet de levier sur les coûts de conception et la distribution des investissements. En effet, différents indicateurs peuvent être utilisés pour mesurer l'état d'une plateforme au travers de sa compétitivité et de sa performance (Meyer and Lehnerd 1997; Meyer, Tertzakian and Utterback 1997). Ainsi, Meyer et Lehnerd, définissent cinq indicateurs ayant pour but d'estimer quand une plateforme commence à perdre de son intérêt, perd ses avantages économiques et devrait être remplacée ou renouvelée. Deux d'entre eux sont particulièrement pertinents pour évaluer la performance d'une plateforme :

- Le premier – « Platform Efficiency » – est un indicateur d'efficacité :

$$\text{Efficacité (Plateforme)} = \frac{\text{Coût Développement (produit Dérivés)}}{\text{Coût Développement (Plate - Forme)}}$$

<sup>37</sup> Plus communément appelés les « High-Velocity-Market »

Cet indicateur a pour but de mesurer sous quelles conditions le cœur de plateforme fourni une base commune efficace pour le développement de produits dérivés en comparant les coûts de développement des produits dérivés par rapport aux coûts de développement du cœur de plateforme. Ainsi, une augmentation de ce taux peut indiquer que la plateforme commence à devenir âgée ou obsolète, ou qu'elle doit être renouvelée.

- le deuxième indicateur est un indicateur d'efficacité (ou « Platform Effectiveness ») qui compare les ressources allouées pour concevoir et développer les produits aux revenus générés par ces mêmes produits.

$$\text{Efficacité (Plateforme)} = \frac{\text{revenus nets (produit dérivé)}}{\text{Coût Développement (produit dérivé)}}$$

Cet indicateur permet de mesurer l'efficacité commerciale de la plateforme en comparant les ressources mobilisées pour le développement de produit (coûts de développement, production, de marketing) aux revenus qu'ils génèrent à travers le temps.

Néanmoins, si ces indicateurs donnent des informations sur l'obsolescence d'une plateforme, ils ne donnent aucune indication sur l'évolution du stock de règles de conception, qui est pourtant un des éléments essentiel du renouvellement d'une plateforme. Nous avons cherché à appliquer ces indicateurs pour interpréter ce que l'on pouvait en déduire par rapport aux efforts de R&D. Dans un premier temps, nous nous sommes efforcés d'appliquer ces indicateurs.

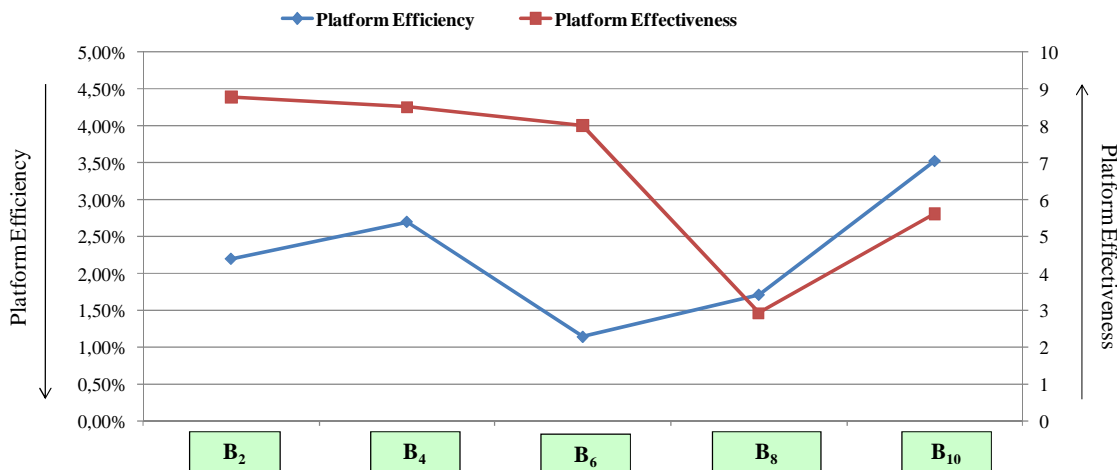


Figure 1.34 : Application des indicateurs de Meyer - Le cas des capteurs d'image.

Si on analyse les résultats obtenus, ils permettent notamment d'explicitier les effets plateformes, l'effet attendu sur les produits dérivés et les efforts de conception supplémentaires qui ont dû être réalisés sur certains produits. La Figure 1.34 représente l'utilisation de ces indicateurs à une génération de produits particulière de capteurs d'images, où l'évolution des courbes peut-être interprétée de différentes manières. On observe tout d'abord, l'effet plateforme (i.e la mutualisation des efforts de conception entre plusieurs produits) sur les premiers produits de la famille qui correspondent à de gros volumes et faibles marges pour les applications grand public (comme les téléphones portables). Le développement de ces produits est relativement proche de celui de la plateforme (pour les trois premiers). Pour les deux derniers produits, ceux-ci

correspondent à des diversifications (pour différents marchés dérivés) qui nécessitent un développement particulier, on a donc une diminution de l'efficacité. Ainsi, l'utilisation de ces indicateurs permet d'expliquer et visualiser la performance d'une plateforme, néanmoins, une de leurs limites est liée au pilotage des travaux de conception. En effet, ce type d'indicateur ne donne aucune information sur le moment où il faut changer de plateforme, ni sur les conditions dans lesquelles doit être réalisé ce changement. Ce point est d'ailleurs souligné par l'auteur (Meyer, Tertzakian et al. 1997) qui affirme "The work presented in this paper does not explicitly tell management precisely when to create a new product platform. However, our concepts and metrics provide managers with a rich context to determine when a product platform should be obsolete".

### 5.2.2 Une relecture des stratégies de renouvellement de plateforme

La littérature sur les plateformes s'est essentiellement concentrée sur la gestion des activités de conception de plateforme (Halman, Hofer and Vuuren 2003), les gains en effort de conception du fait de l'utilisation des effets de modularités (Sanderson and Uzumeri 1994) ou « commonalités » (Ulrich 1995), des modes de gestion pour concevoir des plateformes (Lenfle, Jouini and Derrousseau 2007). Une première modélisation de la performance des plateformes a été proposée par Meyer, qui évalue la performance Ex/Post des plateformes. Ainsi, ces métriques permettent d'évaluer la performance d'une plateforme par rapport aux produits à concevoir. Ainsi, ce qui est modélisé dans ce cas, ce sont les effets et conséquences des plateformes.

Du fait des attributs de la « recherche avancée » et la nature de ses activités, nous nous sommes intéressés essentiellement aux éléments qui sont à la base d'une plateforme et permettent de concevoir les produits dérivés : les règles de conception.. Une de nos hypothèses est que le phénomène sous-jacent au vieillissement d'une plateforme est l'évolution d'un stock de règles de conception.

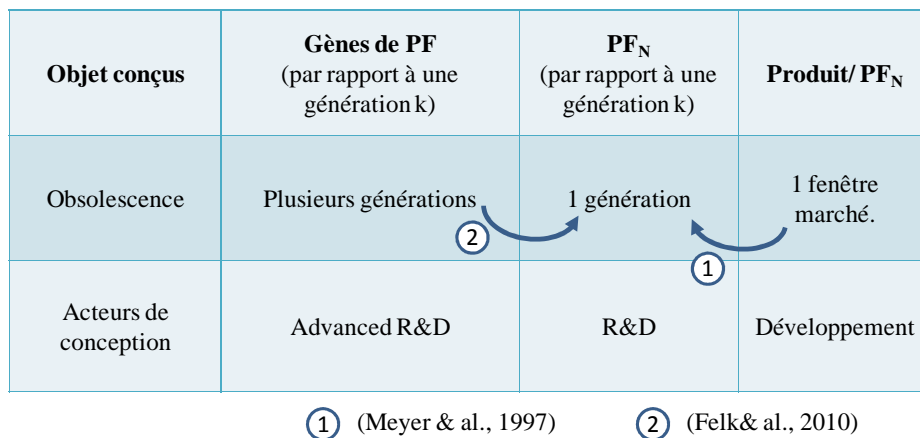


Figure 1.35 : Positionnement de nos travaux de recherche – renouvellement de Plateforme.

Ainsi, la plupart des contributions académiques se sont concentrées sur le rôle des plateformes et leurs effets sur les familles de produits, i.e les produits conçus à partir d'une même base de plateforme (ce que nous représentons en Figure 1.35 par la flèche 1). Chaque produit

d'une famille existe pendant une « fenêtre marché » et est réalisé à partir d'une plateforme. La plateforme s'appuie elle sur des règles de conception qui constituent ses gènes. Un des attribue de la « recherche avancée » est de renouveler ces règles de conception. C'est à ce type de mécanisme que nous nous sommes intéressés. A travers notre modèle (cf. Figure 1.35 avec la flèche 2) nous avons cherché à distinguer différents modes de régénération de ces plateformes.

Si l'évolution du stock de règles est un des symptômes de la performance des plateformes, ceci soulève plusieurs questions : quelles sont les actions à lancer pour régénérer un stock de règle ? Quand faut-il les lancer et sous quelles conditions ?

Nous avons donc cherché à construire **un modèle économique de l'efficacité de la recherche avancée, qui permet de montrer que sa valeur est lié au renouvellement du capital de règles de conception**. Le modèle réalisé montre que l'activité de la recherche avancée est à distinguer de la recherche (qui anticipe sur une génération de plateforme). Paradoxalement, la recherche avancée est chargée de produire des règles de conception très génériques avec très peu de ressources (il s'agit en fait de déterminer les connaissances vraies quelles que soient les générations futures et donc de déterminer des indépendances).

On pourra souligner les limites du modèle par rapport aux questions sur la valeur (en effet, une autre manière de considérer ces travaux de recherche avancée serait de prendre en compte son impact sur les produits et les différentes générations). Mais même si on laisse de côté ces questions autour de la valeur, le modèle a pour principal intérêt d'explicitier des trajectoires de firme.

### 5.2.3 La recherche avancée et les règles de conception : héritage et potentiel de valeur

Dans un premier temps, nous pouvons remarquer que **notre modèle permet d'interpréter des trajectoires de firmes par rapport à des logiques d'investissements pour des plateformes**. En effet, on retrouve des évolutions de coûts de fabrication pour chaque génération sur les capteurs d'image, au fur et à mesure que les plateformes de capteurs dérivées du « cœur CMOS » acquièrent des spécificités. Cet élément nous permet d'illustrer le phénomène que nous appelons de dé-apprentissage, par opposition aux courbes d'apprentissage proposées par Arrow (Arrow 1962). Nous notons notamment différentes augmentations au niveau des investissements avec le passage de la génération N à la génération N+1 (+15%) et pour N+2 (+30%). Dans un second temps, nous pouvons indiquer que **notre modèle permet de distinguer la « recherche » de la « recherche avancée » en illustrant deux modes de régénération des règles de conception basées sur de l'« anticipation » et du « pré-positionnement »**. Ainsi, notre modèle donne une clé de compréhension du rôle de cette recherche avancée. Le modèle économique montre que la recherche avancée a pour but d'adresser des questions génériques, avec des investissements très faibles et se positionner sur les combinaisons de connaissances qui vont bientôt apparaître. Par conséquent, ce qui fait généricité, ce sont les questions posées par la recherche avancée, ce qui revient paradoxalement à affirmer que les concepts explorés sont plus génériques que les connaissances produites. La recherche avancée a donc pour but de dresser une cartographie des « potentiels » atteignables. **Pour illustrer cette proposition sur la généricité,**

**les briques de prototypes réalisés par la recherche avancée ne le sont pas, tandis que la structuration de l'espace à explorer l'est, notamment à l'intersection de deux espaces que sont l'intégration 3D et les « capteurs d'images ».**

Ce modèle amène donc à interpréter le rôle de cette « recherche avancée » et la nature de ses activités. Celle-ci est différente d'une fonction de conception innovante, son rôle étant de préparer les « gènes » des futures plateformes. La « recherche avancée » est donc plutôt une capacité de pré-positionnement par rapport à un ensemble de question sur un champ émergent. Par rapport au modèle proposé, nous pouvons énoncer différentes critiques et voies d'évolution qui permettraient d'affiner les résultats obtenus. Le premier élément est le lien entre le modèle proposé et la question de la valeur. Cet élément suggère plusieurs questions à la fois sur la temporalité (i.e la succession des plateformes) mais aussi sur les effets de la production de règles génériques par cette recherche avancée. Ceci amène des questions du type : arriver plus tôt permet-il d'augmenter son profit ? D'après les premiers éléments empiriques que nous avons recueillis, nous pouvons souligner qu'il n'y a pas d'effet du type « winner-take-all » dans cette industrie. En effet, ce n'est pas parce qu'un industriel est en avance par rapport aux 'roadmaps' technologiques qu'il emporte l'ensemble du marché disponible, le client aura tendance à redistribuer la valeur, pour diminuer sa dépendance vis-à-vis d'un fournisseur unique (et se prémunir d'une rupture de stock).

### 5.3 LA QUESTION DE LA RECHERCHE AVANCEE ET DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE.

#### 5.3.1 Concevoir des brevets pour la rupture, des éléments de contexte

Avant de décrire la méthode « C-K Invent », revenons sur le contexte qui a amené à sa proposition. Dès 2007, alors que l' « intégration 3D » apparaissait comme une des alternatives à la loi de Moore, un rapport Thomson (Thomson Scientific Professional Services 2007), intitulé « Technical Intelligence Project : Wafer Level Packaging », présentait un état des lieux de l'activité inventive de différents acteurs par rapport à cette thématique. La représentation de différentes cartographies brevets tendaient à montrer que des concurrents, des fournisseurs et des clients de STMicroelectronics commençaient à se positionner de manière forte par rapport à cette thématique émergente. Dès lors, un des enjeux pour la firme a été de se positionner par rapport à cette thématique en explorant différentes alternatives technologiques. Ceci a été formulé de la manière suivante par un des directeurs du programme 3D : « comment proposer un portefeuille de brevets robuste qui nous permette de nous couvrir par rapport à des alternatives concurrentes ? ».

On pourrait se demander pourquoi était-il nécessaire de construire une méthode par rapport à cette problématique « brevets » ? Quels étaient les effets recherchés ? En quoi est-elle pertinente ? Qu'est-ce qui la différencie des méthodes classiques ? La généralité du concept « 3D-Integration » nous a amené à construire une approche par rapport à cette demande, pour préciser les nouveaux champs de recherche à adresser. Les brevets étant souvent associés à des « solutions techniques pour des problèmes techniques », l'un des enjeux liés à ce concept très générique a été de restructurer l'espace des problèmes avant d'identifier les solutions que l'on pouvait proposer. Cette expérience fut menée au sein de l'équipe « 3D and Derivatives » d'Octobre 2008 à Décembre 2009. Elle nous a conduit à proposer cinq dépôts de brevets en tant qu'inventeur ou co-inventeur (Felk and Cadix 2009) (Felk, Chaabouni et al. 2009) (Felk and Farcy 2009) (Chaabouni, Felk et al. 2009) (Coudrain, Felk et al. 2010).

### 5.3.2 « C-K Invent » une méthode pour des brevets de recherche avancée

Notre première approche a été de revenir sur le brevet à la fois comme moyen d'évaluer les activités de recherche, mais aussi comme objet de conception. Le brevet a souvent été considéré comme une des mesures des activités de conception ou de R&D. Du fait des informations contenues dans ce type de document, il a souvent été utilisé comme indicateur économique (Griliches 1990), pour réaliser des analyses concurrentielles (Fabry, Ernst, Langholz et al. 2005), interpréter des trajectoires technologiques (Ernst 2003), ou cartographier des stratégies de conception (Verspagen 2007). L'ensemble des auteurs de cette littérature est donc d'accord sur un point essentiel : l'activité de conception précède le dépôt de brevet et ce dernier permet de protéger des efforts déjà réalisés. Si l'on s'intéresse au brevet comme moyen d'évaluer les travaux de recherche, on retrouve tout un ensemble de corpus dédié à en mesurer les effets générés par les brevets (octroi de droits, protection d'espaces de valeur, accords de licence,...). En effet, le brevet est souvent considéré comme un résultat de travail de recherche, qui permet de protéger un effort de conception préalablement réalisé. Or lorsqu'on réalise une revue de littérature menée dans les principaux journaux relatifs à la conception comme « *Journal of Engineering Design* » (JED) et « *Research in Engineering Design* » (RED), on constate que le brevet n'a pas été considéré comme objet de conception. Nous nous retrouvons donc dans une situation assez paradoxale où dans les situations de ruptures, disposer de brevets est une problématique critique mais cette activité est concomitante aux travaux de conception.

Nous sommes donc paradoxalement dans une situation où le brevet est considéré comme objet de conception (au sens où il ne suit pas l'activité de conception de manière séquentielle). De même qu'en conception de produit on dispose de modèle d'artefact, comme par exemple le langage de l'objet F-B-S (*Function – Behaviour – Structure*) proposé par Gero (Gero 1990), la situation d'innovation radicale nécessite d'avoir un modèle de l'objet brevet. Ceci nous a amené à considérer les questions suivantes : quel langage utiliser en conception innovante pour déposer des brevets plus facilement ?

Nous avons donc cherché un modèle de ce qu'est un brevet (en tant qu'objet de conception) pour qualifier les éléments conçus dans les situations d'innovation radicale. Un premier modèle que l'on peut noter est celui proposé par TRIZ, méthode de résolution de problèmes inventifs proposée par Altschuller (Altschuller 1984) et son équipe de recherche, suite à l'analyse de plus de 400 000 brevets dans les années 80. TRIZ propose une première modélisation de l'activité inventive en tant que résolution de 'proposition paradoxale' par différentes abstractions, ce qui a fait l'objet de plusieurs cas d'études (Zhang, Liu, Zhang et al. 2006) (Glaser and Miecznik 2009) (Boujut and Linca 2009). Cette approche propose de modéliser un brevet comme un couple (Contradiction / Principe de résolution) soulève plusieurs questions vis-à-vis d'approches en ruptures (Gillier 2009) (p. 245). En effet, on peut se demander quels sont les « problèmes » à résoudre pour une technologie en émergence alors que les éléments la constituant ne sont pas définis?

Le modèle qui nous a semblé le plus pertinent est celui qui consiste à définir un brevet comme un triplet (A, E, K), où A sont des Actions, E des Effets et K des Connaissances (ou Knowledge). Ainsi, un brevet consiste à formuler une « phrase » (ou une recette) décrivant



comment obtenir des Effets (E), à partir d'une combinaison d'Actions (A) mobilisant de nouvelles Connaissances (K). Cette modélisation est issue de travaux menés en 2006 au CEA (Couble and Devillers 2006) par deux étudiants de Mines Paristech sous la direction des professeurs Armand Hatchuel et Pascal Le Masson. Leurs travaux portaient sur l'amélioration du processus de dépôt de brevet au CEA et leur modélisation a notamment été utilisée chez THALES dans le cadre d'une thèse intitulée « De la gestion des brevets d'inventions au pilotage de l'innovation » (Sincholle 2009). Nous mobilisons cette modélisation pour poser une question : Comment formuler un brevet dans le cadre d'innovation de rupture, cas où l'ensemble des éléments A, E et K sont inconnus ?

Sur la base de cette modélisation de l'information contenue dans un brevet, nous proposons une expérimentation qui consiste à restaurer un langage qui permette de qualifier les éléments d'un brevet. Cette expérimentation donne lieu à une proposition de méthode appelée « *C-K Invent* » dont nous présenterons les propriétés. Commençons par présenter les quatre principales étapes de la méthode à partir de la définition d'un nouveau « champ d'innovation ».

### **1<sup>ère</sup> Etape : Définition de couples (A-E) de « haut niveau »**

Cette phase a pour but de définir l'espace de conception à explorer et se traduit par la formulation de 'Concepts génératif' (Sincholle, 2009) basés sur des couples (A – E) de haut niveau permettant de découpler les problématiques. A travers cette notion de concepts génératifs l'idée est de structurer l'ensemble des connaissances qui seront à mobiliser pour qualifier les différentes ramifications, « l'idée étant d'identifier le maximum d'opportunités possibles » (Sincholle, p.209). Pour cela, un des éléments essentiels de cette phase correspond à l'utilisation de « proto-sémantique » (Wildgen 2004) pour organiser l'exploration de nouveaux espaces de conception. Cette « proto-sémantique » permet d'introduire des spécificités A et E aux objets de conception et de s'extraire des représentations classiques des objets, du « fixation-effect » induit par les représentations classiques (nous illustrerons dans notre cas d'étude les formes que peuvent prendre ces 'nouveaux mots'). L'introduction de ce proto-langage a deux effets qui nous semblent intéressants. Il permet d'une part de fédérer l'ensemble du groupe de conception autour de notions communément admises, ce qui permet d'éviter les biais introduits par le sens caché de certains mots. D'autre part, il permet d'enrichir leur contenu, ainsi en gagnant en abstraction, on enrichit le potentiel exploratoire de ces nouveaux mots et le sens qu'ils peuvent transporter, au fur et à mesure des discussions. Nous illustrerons à travers notre cas d'étude la construction de ce 'proto-langage' et les mécanismes associés.

### **2<sup>ème</sup> Etape : Structuration du champ d'innovation en C-K**

L'objectif de cette étape est de commencer à structurer ce nouvel espace d'exploration. En C, nous revenons sur le raisonnement de conception en proposant des attributs permettant de rendre compte de l'enchaînement des couples (A-E). Dans l'espace K l'objectif est de cartographier l'état de l'art des technologies utilisées et existantes mais aussi et surtout de rendre compte des objets de recherche adressés par différentes communautés scientifiques (laboratoires publics, consortium, universités, start-up) sur des technologies émergentes. Ainsi, dans l'arbre des concepts on proposera des séries d'attributs basés sur des actions (A) ou des effets (E) en associant en K les connaissances existantes ou manquantes permettant de statuer sur l'état du concept (A-E). Les questions en K sur les performances attendues ont pour but d'identifier les

connaissances manquantes pour qualifier les Effets attendus par les Actions réalisées. Cette première phase de la deuxième étape permet d'obtenir une liste d'idées que nous pouvons rattacher aux différents concepts (A-E) formulés en Etape 1.

A ce niveau, nous nous proposons d'étendre l'utilisation des 'matrices morphologiques' (traduction de '*Morphological Box*') proposées par Zwicky (Zwicky 1967) pour construire des matrices Actions/Effets qui permettront d'ordonner rigoureusement et systématiquement les idées formulées et investiguer l'ensemble des propriétés internes à une structure contenant un nombre disparate de paramètres. A l'origine, les matrices morphologiques de Zwicky ont été proposées comme des méthodes de conception (Zeiler and Savanovic 2009) permettant de structurer un espace de solutions et d'encourager la créativité. A chaque couple (Ai, Ei) on associera un état qui pourra être : comme faisant partie de l'état de l'art ou de l'existant (E), un concept si le couple considéré n'a pas d'idée associée (C), une idée (I) ou un brevet si l'idée a été évaluée et validée (B). Cette approche requiert que les Effets (exprimées sous forme de fonctions) soient définis, ce qui permet de borner l'espace de solutions, nous nous proposons donc de les utiliser comme un outil de 'pavage' qui permet de rendre compte de l'espace de conception couvert.

### **3<sup>ème</sup> Etape : Classification des idées, répartition de la valeur et premières évaluations.**

La première activité de cette 3<sup>ème</sup> étape consiste à classer les différentes idées selon les différents concepts (A-E) identifiés lors de la '1<sup>ère</sup> Etape'. Ceci permet d'avoir une vue d'ensemble de la répartition des idées formulées et de pouvoir les classer sur différentes échelles de temps. Ensuite, on pourra procéder à l'attribution des inventeurs en fonction de leur contribution inventive à la formulation d'une idée. Un des enjeux majeurs de l'attribution des idées aux inventeurs/co-inventeurs est de définir pour la suite du développement de l'idée, la charge et la répartition des tâches selon chaque acteur. En effet, comme nous l'avons vu à travers le formalisme (A, E, K) et les critères de brevetabilité, une idée n'est pas un brevet. Il s'agit ensuite de qualifier et quantifier les Effets recherchés par des travaux de simulation ou modélisation, de répertorier les classes d'Actions qui permettront d'atteindre ces Effets et enfin les connaissances créées ( $\delta K$ ). A ce stade, nous pouvons mentionner deux règles de répartition des auteurs, que nous développerons plus encore dans notre paragraphe relatif aux recommandations managériales. La première est qu'il ne peut y avoir plus de trois à quatre inventeurs/co-inventeurs, en effet, la multiplicité des auteurs ne garantit pas la contribution de chacun aux revendications du brevet, ce qui peut être une cause de nullité du brevet dans certains pays (par exemple aux USA). La seconde est de laisser un espace libre dans la liste des inventeurs / co-inventeurs pour permettre à des pourvoyeurs de connaissances externes de s'associer à une idée

Une fois les idées identifiées et « pré-conçues », celles-ci sont soumises à un processus d'évaluation interne communément appelé PCM (*Patent Committee Meeting*). Ce type d'instance d'évaluation que nous décrirons par la suite à pu rendre compte de deux bonnes propriétés de la méthode : un nombre important d'idées et un taux d'acceptation élevé.

### **Synthèse de la méthode**

La méthode C-K Invent que nous proposons, s'appuie sur une approche collective des stratégies de propriété industrielle (IP) et cherche à définir des positions de conception à

verrouiller. Par rapport aux approches classiques utilisées pour le dépôt de brevet, le processus est a priori contre-intuitif pour trois raisons majeures :

- 1- Un brevet est a priori une solution technique à un problème technique. Or ici, l'idée est de partir d'une solution proposée (l'intégration 3D) pour définir le champ d'exploration qu'elle permettrait de couvrir. L'enjeu est donc de commencer par structurer l'espace de problèmes à adresser avant d'envisager les solutions associées.
- 2- L'ensemble de cette méthode permet de préciser ce qui est conçu lorsqu'on construit un porte-feuille brevet, et permet de résister aux attracteurs que sont la *serendipity* et le *brainstorming*. Le processus peut-être interprété comme de l'anti- « *serendipity*<sup>38</sup> » (heureuse rencontre), on retrouve en C-K des raisonnements de conception très précis où l'ensemble des attributs sont associés à des dimensions de la performance, qui va aller stimuler la production de connaissance (alternatives en C, questions en K) et d'inciter les concepteurs à décliner des matrices A/E. La formulation du brevet en C-K apparait assez longue, c'est une suite d'attributs complète qui comprend à la fois des éléments sur les actions (donc sur les modes de réalisation) sur les effets (le type et le niveau de performance attendue).

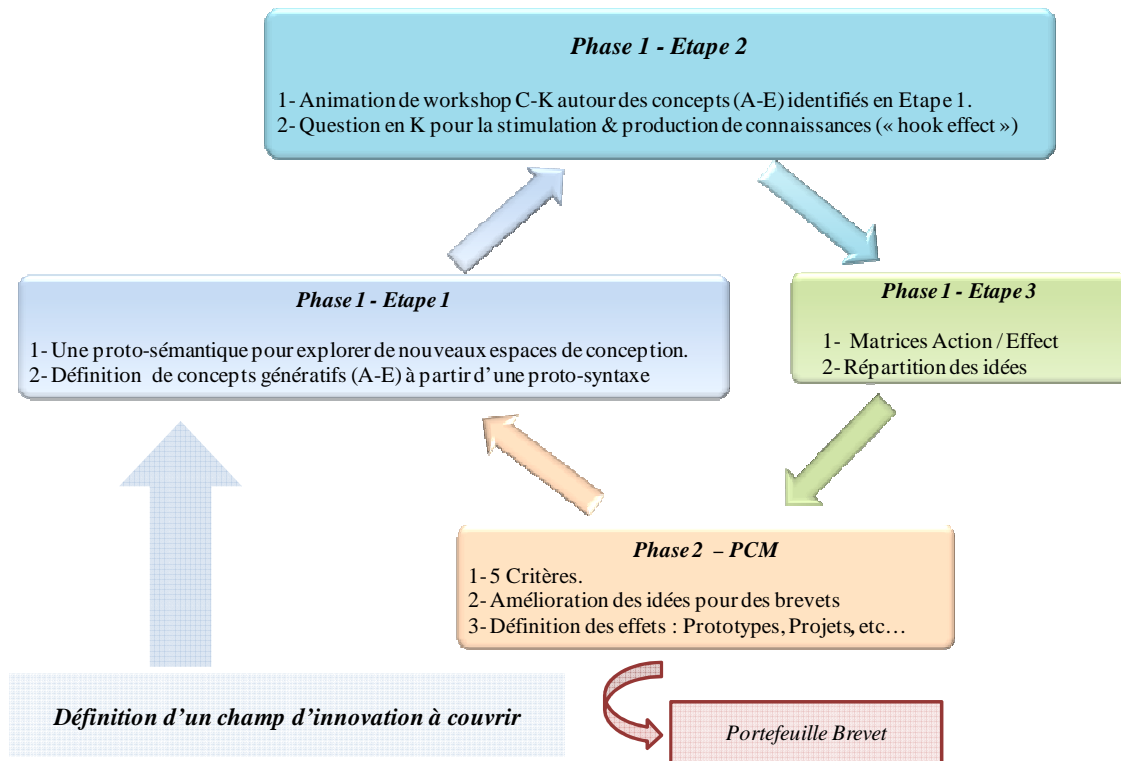


Figure 1.36 : Synthèse de la méthode « C-K Invent ».

<sup>38</sup> « **serendipity** » signifie, en anglais, la découverte par le hasard chance plus que par investigation. L'origine de ce mot provient d'un conte indien ancien, intitulé « Les trois princes de Sirendip ». La version la plus ancienne date du XII<sup>e</sup> siècle, à travers l'œuvre du poète indo-persan Amir Kousrou Dihlavi où trois jeunes princes de Sirendip (nom arabe de Ceylan) partent en voyage et résolvent des problèmes à partir d'indices qu'ils ont notés au hasard de leur chemin. Ce conte sera d'abord traduit en italien, à Venise, en 1557, puis traduit en français par le chevalier de Mailly, en 1721. Voltaire s'en inspire largement pour écrire les aventures de Zadig.

- 3- Enfin c'est un processus qui cherche à construire de manière collective des portefeuilles de brevets robustes (et à positionner les alternatives les unes par rapport aux autres) pour proposer des brevets d'assez haut niveau.

Cette méthode consiste à rebâtir un langage (A, E, K). Pour cela elle s'appuie sur trois éléments essentiels pour reconstruire des portefeuilles de brevets :

- 1- Le premier est la construction d'une « proto-sémantique » qui permet de préciser ce qu'il y a à concevoir. Cette « proto-sémantique » s'appuie sur des concepts formulés sous forme de couples (A,E) de haut niveau qui vont permettre de structurer les bases de connaissances.
- 2- Le deuxième point consiste à définir à partir de cette proto-sémantique, une proto-syntaxe qui permet de structurer l'inconnu en C (dans une modélisation C-K).
- 3- Le dernier élément sur lequel s'appuie cette méthode est une logique de couverture où l'objectif est d'être capable de parcourir l'ensemble des alternatives de l'arbre C-K dans une logique d'exhaustivité.

### 5.3.3 Résultats pour l'entreprise : définition du cadre d'utilisation de la méthode

Au sein de la firme, alors que les processus d'identification d'idées de brevets sont souvent multiples et peuvent être issus à la fois de travaux de recherche, de travaux d'analyse de la concurrence, des fournisseurs, des partenaires de recherche ou de séances de brainstorming « conventionnels » organisés autour de problématique identifiées au préalable, nous n'avons pas trouvé de protocole permettant de formaliser les phases amont de formulation d'idées alors que les phases en aval de l'évaluation sont basées sur des processus, des organisations et des méthodes éprouvées. Avec la méthode « *C-K Invent* », nous proposons donc une manière de structurer les phases amonts de la proposition de brevets pour les activités de recherche pour la rupture.

Le plus souvent, cette phase d'identification d'idée est suivie par des travaux de modélisation, simulation ou de 'petit'<sup>39</sup> prototypage qui permettent de montrer l'intérêt de l'idée, en terme de valeur, performance ou fonctionnalité. Alors que dans le cas d'Air Liquide, Ayerbe et Mitkova (Ayerbe and Mitkova 2005) décrivent un processus de déclaration de brevet relativement informel appelé « Invention Review Committee » qui ne commence à être formalisé et contrôlé qu'à partir des choix d'extensions, certaines firmes s'appuient au contraire sur des processus d'évaluation des idées de brevets très structurés comme chez HP (Grindley and Teece 1997), où il peut même être décidé de procéder à la publication d'une idée non-stratégique pour que celle-ci ne soit pas utilisée par d'autres (« *vanity publishers* » for publicly disclosing the results of research exist for this purpose »).

---

<sup>39</sup> Par 'petit' nous entendons rapide et peu coûteux.

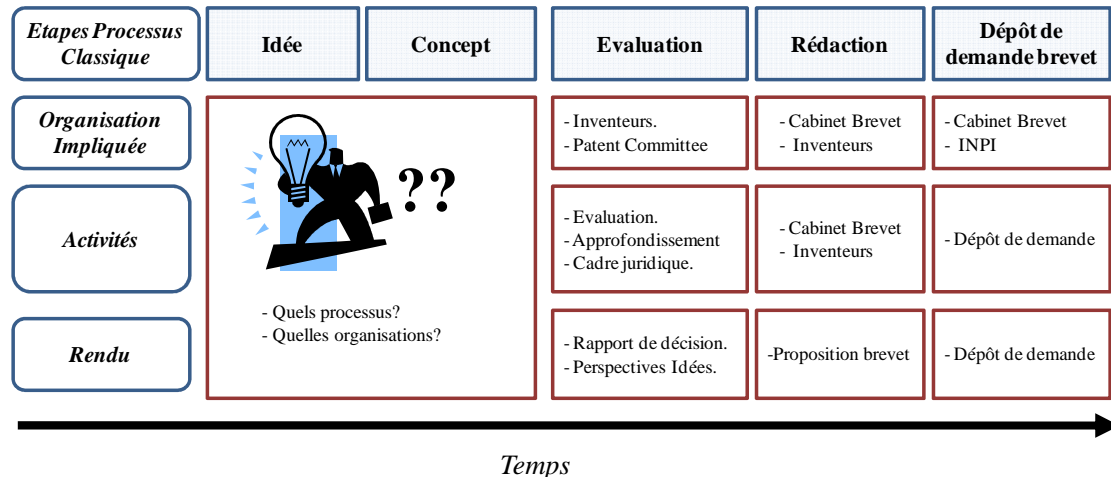


Figure 1.37 : Représentation du Processus de dépôt interne de l'invention au Brevet

Nous avons pu observer les bonnes propriétés de la méthode car elle tire parti de conditions favorables existantes au sein de l'entreprise. Assez étonnamment comme nous le verrons, il y a une internalisation assez précoce des critères de brevetabilité dans le processus de formulation des idées, ce qui en assure la robustesse. Dans notre cas, l'entreprise est dotée d'un processus de dépôt extrêmement précis dont les modalités sont précisées à chaque étape précédant la proposition de demande de brevet. Une fois l'idée suffisamment mûre, celle-ci peut-être présentée en PCM (Patent Committee Meeting), qui est une réunion où la décision de dépôt de brevet est prise de manière collégiale par les personnes suivantes :

- 1- Un ingénieur brevet qui a pour rôle de définir le cadre juridique du dépôt de brevet (dans le cadre de dépôt commun avec des laboratoires de recherche), il suit l'intégralité de la procédure d'évaluation et de dépôt de brevet en prenant en compte les contraintes qui seraient liées à des divulgations prévues (publication de résultat de recherche dans des conférences ou journaux) ;
- 2- Un consultant d'un cabinet brevet (qui apporte des notions juridiques et de rédaction de brevet), qui porte une première appréciation sur la qualité des revendications qui pourraient être formulées.
- 3- Un responsable de la stratégie lié au CTO<sup>40</sup> (il a pour rôle d'évaluer la consistance industrielle de l'idée formulée et développée par rapport aux *roadmaps* technologiques ou produits).
- 4- Des experts (ils ont pour rôle d'évaluer le contenu scientifique de la proposition en termes d'inventivité et nouveauté).

Au cours de ces PCM, les propositions de brevets sont évaluées selon cinq dimensions que sont :

1. la cohérence par rapport aux *roadmaps* produits/technologies,
2. l'idée et l'état de l'art permettant de statuer sur son degré d'inventivité,
3. la proposition d'un mode de réalisation,
4. l'identification de moyens de détection (qui permettront de montrer la contre-façon),
5. quelques moyens ou voies de solutions pour contourner l'idée (voies alternatives).

<sup>40</sup> Chief Technology Officer

Ainsi, si on analyse ces critères, on remarque que les critères 2 et 3 sont liés à des critères de brevetabilité, le critère 1 est lié à la valorisation de l'idée par rapport à son utilisation dans des technologies ou produits, le critère 4 est lié à la protection de l'invention (en montrant son utilisation) et le critère 5 cherche à montrer la robustesse de l'idée par rapport à un champ de conception donné. Le PCM est aussi une réunion qui permet d'échanger sur l'idée d'invention proposée pour l'étayer, en identifier des dérivées ou des idées alternatives et enfin évoquer les suites qui seront données à l'idée (qui peuvent aller du dépôt de brevet à la mise en place de projet collaboratif en passant par la réalisation de démonstrateurs ou prototypes).

A l'issue du PCM, les inventeurs sont notifiés par écrit de la suite qui sera donnée à leur idée, qui peut prendre trois aspects : soit il est considéré que l'idée n'est pas brevetable (auquel cas elle ne fait pas l'objet d'un dépôt de demande), soit elle est brevetable (car elle répond aux critères décrits précédemment), ou, troisième cas, l'idée est intéressante mais difficilement brevetable celle-ci peut alors faire l'objet d'un « trade-secret » ou 'secret de fabrique' qui permet de protéger aussi les informations confidentielles qui permettent à l'entreprise d'avoir un avantage compétitif (on peut citer notamment certaines étapes de procédés qui permettent d'améliorer des étapes industrielles, mais qui sont difficilement détectables et dont on peut donc difficilement démontrer la contre-façon). Dans le cadre de notre cas d'étude concernant l'intégration 3D, nous pouvons remarquer que l'utilisation de la méthode « *C-K Invent* » a mené à plusieurs résultats assez surprenants. Tout d'abord par le nombre de proposition de dépôt de brevets, au total cette méthode a permis entre Octobre 2008 et Décembre 2009 de proposer **à peu près 10% de l'ensemble des propositions de dépôts de brevets pour le département de R&D de STMicroelectronics et un peu moins de 20% des demandes de dépôts de brevets réalisées sur le site de Crolles.**

Les travaux autour de « *C-K Invent* » sont synthétisés dans le troisième point de notre deuxième partie. Nous avons plusieurs fois eu l'occasion de discuter de nos travaux autour de « *C-K Invent* » notamment avec les experts de la firme lors d'une présentation pendant la « journée des experts » (Felk and Ancey 2010) qui a eu lieu la première semaine de l'innovation (Avril 2009) sur le site de Crolles de STMicroelectronics. Une seconde présentation à Soitec en Septembre 2010 autour de nos travaux de recherche, nous a permis de partager cette expérience et d'envisager les conditions de sa diffusion. Enfin, nous pouvons préciser que cette méthode contribue à l'Axe 2 des travaux de la chaire TMCI<sup>41</sup> « Formes d'organisation collaboratives de l'innovation dans et entre les entreprises » ayant pour objet de développer différentes méthodes autour de la théorie de la conception innovante.

L'ensemble de nos résultats obtenus autour de nos travaux de thèse suggèrent donc une nouvelle forme de pilotage des activités de recherche pour la rupture. Dans la dernière partie de cette synthèse, nous proposons de revenir sur la caractérisation de cette nouvelle forme de recherche industrielle, les éléments liés à son pilotage et les perspectives de recherche que ces travaux suggèrent.

---

<sup>41</sup> Théories et Méthodes de la Conception Innovante.

## **6 VERS DE NOUVELLES FORMES DE PILOTAGE DE LA RECHERCHE POUR LA RUPTURE**

L'ensemble de nos travaux, nous permettent d'avoir une meilleure compréhension de ce que sont les facteurs de performance de cette « recherche avancée » pour la rupture. Nos questions de recherche nous ont amené à penser et proposer un modèle de la recherche avancée distinct de la recherche et de la fonction d'innovation telle que définie par (Le Masson 2001) (Hatchuel, Le Masson and Weil 2001). Alors que la littérature s'est beaucoup intéressée aux questions de pilotage de la recherche, nous sommes revenus sur les formes d'évaluations de la recherche (pour la rupture) pour montrer en quoi cela permet de revoir les questions de pilotage et de rediscuter : le rapport à la stratégie, aux « stakeholders » et les indicateurs économiques associés.

Reprenons les principaux éléments de nos enquêtes qui nous permettent de retracer l'image de la recherche avancée. Tout d'abord comme nous l'avons vu, nous avons affaire à une entité caractérisée par une instabilité des sujets de recherche qu'elle adresse. Ensuite, ces sujets sont spécifiques par leur nature : ce sont des sujets en rupture par rapport aux champs de recherche déjà structurés sur d'autres thématiques (comme par exemple le More Moore). Les trois volets (réseaux, produits et brevets) abordés nous permettent de rediscuter le rapport de cette entité à la stratégie. En effet, dans un premier temps nos résultats tendent à montrer que lorsque le niveau de rupture est élevé, alors il faut s'appuyer sur un mouvement de « desorption » et de stimulation de l'éco-système pour reconstruire une base de règles de conception et être sensible aux bruits faibles. Ce mouvement « Desorptif » caractérise une nouvelle forme de gestion des collaborations avec des laboratoires de recherche externes où il s'agit d'explorer des technologies concurrentes. Le second volet de nos travaux tend à montrer qu'il y a un point de fonctionnement de cette recherche avancée pour lequel elle mérite d'être activée. Enfin, le dernier volet de nos travaux tend à montrer que pour les sujets de recherche pour la rupture, il est nécessaire de considérer le brevet comme objet de conception pour disposer de portefeuilles de brevets robustes.

Un des points que nos travaux de recherche permet de rediscuter est la question du pilotage de cette activité et son rapport aux « Stakeholders » ou parties prenantes. Nos résultats de recherche permettent de discuter des formes d'organisation que prend cette recherche avancée, des formes de pilotage et d'organisation. Une des formes qui a suscité notre intérêt est l'approche par les « test-case », où l'enjeu est de coupler des recherches technologiques très amont et en rupture avec une recherche par une approche orientée marché « business unit » qui permet un pilotage par la valeur. Cet intérêt est d'autant plus souligné par nos modélisations économiques de logiques de régénération de plateformes.

Enfin, revenons sur les indicateurs économiques associés à cette recherche pour la rupture. Nous avons vu que la valeur des Connaissances produites est associée à ce que l'on pourrait définir comme étant des règles de conception (ou « Design Rules ») de haut-niveau dans une représentation de type C-K. Cette forme de recherche tend donc à produire des connaissances qui ont un niveau de généralité supérieure à celui qui est applicable sur un produit.

Ainsi, cette recherche pour la rupture a pour rôle de travailler sur les impossibles avec un enjeu fort qui est la généralité des connaissances produites par rapport à la base de règles. En termes de raisonnement de conception, on retrouve des mécanismes qui consistent à remonter à un

concept générique, pour cartographier l'ensemble des questions qui seront à adresser. Ceci signifie, si on reprend un langage lié aux théories de la conception (et aux modélisations de type C-K), travailler en C sur les concepts génériques, alors que la vitesse d'obsolescence a essentiellement un impact sur les connaissances exploitables. Ainsi, un des enjeux de cette recherche pour la rupture sera de travailler sur les inter-dépendances entre bases de connaissances. Le pilotage de ces activités consistera à structurer les champs de recherche, pour définir les différents interfaces entre ces modules. Par conséquent, elle sert plutôt à réaliser une cartographie et une distribution des ruptures possibles.

On considérera dans un dernier point deux questions. La première, en montrant en quoi les questions de pilotage de la recherche pour la rupture sont différentes de celles adressées par le modèle d'une recherche-ouverte qui reprendrait un modèle de l'entonnoir poreux. La seconde en montrant ce qui caractérise cette entité.

## 6.1 DE LA REDUCTION D'INCERTITUDE A LA STRUCTURATION DE L'INCONNU

Comme nous l'avons vu précédemment, un des premiers paradigme associé aux activités de recherche est celui de la réduction d'incertitude par rapport un second qu'est celui de son rapport à l'exploration de nouveaux espaces de conception. Un modèle adopté par la firme vis-à-vis de la recherche est celui de l'entonnoir poreux, où le processus de sélection et de maturation d'idées ne sont plus seulement filtrées (sur la base d'un screening selon différents critères) mais les activités de recherche avancées sont à repositionner dans un modèle plus ouvert. Cette représentation est assimilable à des approches de gestion de risque et est à associer aux questions autour de l'« open-innovation » (Chesbrough 2003). La recherche doit à la fois être ouverte sur l'environnement externe “firms can and should use external ideas as well as internal ideas, and internal and external paths to market, as the firms look to advance their technology”. On retrouve bien la notion de capacité d'absorption, où il s'agit pour la recherche d'avoir les bon réseaux pour instruire des logiques « make or buy » (au premier ordre on peut considérer que la capacité d'absorption soulève la question de disposer d'un réseau de fournisseurs de connaissances).

Cette représentation soulève différentes questions concernant les attributions de la recherche avancée et les compétences des chercheurs pour structurer les explorations de nouveaux espaces de conception. Comme nous l'avons vu précédemment, cette recherche se positionne par rapport à des sujets en rupture et sur de très longues perspectives temporelles. Ainsi, bien souvent les thématiques de recherche avancée sont en-dehors des intérêts immédiats des centres de profits. Dans le cadre de nos expérimentations, ceci s'est traduit par le fait qu'il nous a été relativement difficile d'instruire des partitions relatives aux applications. Nous identifions deux raisons à cela, la première est que le 'client' de la recherche avancée n'est souvent pas l'application mais plutôt l'usine de fabrication (dont une des premières recommandations est d'être le moins intrusif par rapport aux procédés classiques utilisés et stabilisés), la seconde est que la recherche avancée prépare des briques technologiques qui ont pour vocation d'être utilisées sur des plateformes (une partition de type « pour qui ? » introduit des spécificités clients, qui ne permettent pas d'adresser des plateformes standards). Ainsi, la valeur de cette recherche réside dans sa capacité à se pré-positionner par rapport à des alternatives technologiques exploitables.



## 6.2 ELEMENTS STRUCTURANTS ET QUESTIONS OUVERTES DE CETTE NOUVELLE FORME DE RECHERCHE « POUR LA RUPTURE »

Comme nous l'avons vu auparavant, la question de l'évaluation de la recherche s'est jouée historiquement sur des champs disciplinaires plutôt bien structurés, ce qui suppose comme hypothèse que les champs épistémiques soient déjà connus (ceux-ci vont permettre de reconstruire des modèles épistémiques, et permettre ce que nous avons défini comme étant l' « Epistemic Absorptive Capacity »). Or précisément, l'enjeu des activités de recherche avancée est d'explorer l'inconnu, alors que le chercheur ne sait pas où il doit regarder (il s'agit donc d'organiser l'exploration de cet espace inconnu). Par conséquent, la question que nous abordons à travers nos travaux de recherche nous semble être formulable de cette manière : comment cartographier des champs que l'on ne connaît pas ? Comment identifier des champs disciplinaires nouveaux ? Les groupes de recherche sont-ils sur les bons champs de recherche ?

Sans ce type d'activité, c'est-à-dire de « Recherche Avancée » pour la rupture que se passerait-il ? A cette question nous ne pouvons formuler que des pistes de réflexion. Dans un premier temps on pourrait penser qu'il y aurait mécaniquement un accroissement des coûts et des risques associés à l'exploration de nouveaux champs de recherche. Il y aurait un affaiblissement au niveau de la robustesse des raisonnements de conception, et un affaiblissement des opportunités et valeur. L'ensemble de ces éléments montrent que cette structure joue un rôle particulier vis-à-vis du pré-positionnement des alternatives technologiques. Nous avons donc là un rôle de la recherche industrielle pour la rupture qui est à différencier de la recherche industrielle en conception réglée (cf. Figure 1.33)

	<b>Recherche Industrielle Conception Réglée</b>	<b>Recherche Industrielle Conception Innovante</b>
<b>Activité</b>	Réduction Incertitude	Structuration de l'inconnu
<b>Tâches</b>	Répondre à une question étant donné une instrumentation	Donner une structure des « <i>Design Space</i> » étant donné des conditions de recherche
<b>Compétence</b>	Discipline de référence « <i>Epistemic Absorptive Capacity</i> »	Inter-disciplinaire avec « <i>Conceptual Absorptive Capacity</i> »
<b>Appropriation des Connaissances</b>	Brevet comme un résultat de recherche	Porte-feuille de brevets pour paver un espace de conception

Figure 1.33 : Recherche industrielle en « Conception Réglée » et « Conception Innovante »

Par ce tableau comparatif nous cherchons à souligner le fait que la recherche avancée est une recherche « conceptive » qui permet de fabriquer des cartes et des topologies « d'espaces pour la rupture ». Par conséquent, les chercheurs ont à définir des  $C_0$  et indiquer les prises de valeur pour les différentes parties prenantes ou « *stakeholders* », que ce soit des partenaires externes ou d'autres entités de l'entreprise (« marketing », développement, production). Pour résumer, la

légitimation de la recherche avancée est basée sur l'ouverture de nouveaux espaces, ce qui appelle de nouvelles formes de structuration de cette recherche, celle-ci a en partie pour rôle de travailler sur les impossibles avec un enjeu majeur qui est de produire des connaissances suffisamment génériques par rapport à la base de règles.

Une des questions que l'on pourrait se poser finalement pourrait être du type : si on cherche à développer les règles de conception les plus générique avec le moins d'investissement (c'est-à-dire qui aient le plus fort effet levier), a-t-on intérêt à viser la rupture ? **A cette question, nous n'apportons pas de réponse tranchée, néanmoins, nos travaux de recherche montrent que l'objectif de cette recherche est plutôt de réaliser une cartographie des "alternatives" et des activités dont l'objectif est de produire les règles de conception les plus génériques possibles avec un investissement minimal.**

## **REFERENCES**

- Altshuller, G. (1984). *Creativity As an Exact Science : The Theory of the Solution of Inventive Problem Solving*. New York.
- Arden, W., M. Brillouët, P. Coge, M. Graef, B. Huizing and R. Mahnkopf (2010). "“More-than-Moore” - White Paper." Version 2.3 14 October 2010.
- Arrow, K. J. (1962). "The Economic Implications of Learning by Doing." *The Review of Economic Studies* Vol. 29(No. 3): pp. 155-173.
- Ayerbe, C. and L. Mitkova (2005). "Quelle organisation pour la valorisation des brevets d'invention ? Le cas d'Air Liquide." *Revue française de gestion* Vol. 2(No 155): pp. 191 - 206.
- Baldwin, C. Y. (2007). *Frameworks for Thinking about Modularity, Industry Architecture, and Evolution*. Sloan Industry Studies Conference—2007, Boston, MA.
- Bennof, R. J. (2010). *Federal R&D Funding by Budget Function: Fiscal Years 2008-10*. R. a. D. S. Program, National Science Foundation: 48 pages.
- Boujut, J. and C. Linca (2009). *Innovative design methods in the food processing industry*. Design Theory SIG, Second Workshop, 2nd-3rd February 2009. Ecole des Mines de Paris, Working paper for design theory SIG.
- Bozotti, C. and H.-F. Bühner (2005). *The European Semiconductor Industry: 2005 Competitiveness Report* EECA - ESIA (European Semiconductor Industry Association): 60 pages.
- Brown S. et Eisenhardt K. (1997), "The Art of Continuous Change : Linking complexity Theory and Time-paced Evolution in Relentlessly Shifting Organizations", *Administrative Science Quarterly*, vol. 42, pp. 1-34.
- Chaabouni, H., Y. Felk and A. Farcy (2009). *Assemblage aligné de puces/tranches semi-conductrices*. FR09/57045.
- Chanal, V., H. Lesca and A. C. Martinet (1997). "Vers une ingénierie de la recherche en sciences de gestion." *Revue Française de Gestion*: p. 41 - 51.
- Chanal, V. and C. Mothe (2004). *Quel design organisationnel pour combiner innovation d'exploration et innovation d'exploitation ?* AIMS - Association Internationale de Management Stratégique, Le Havre.
- Chesbrough, H. (2003). *Open Innovation : the new imperative for creating and profiting from technology*, Harvard Business School Press.
- Christensen, C. M. (1997). *The Innovator's Dilemma*. Boston, Harvard Business School Press.
- Coge, P., P. Le Masson and B. Weil (2010). *The management of a new common goods for collective growth in ecosystems: roadmapping for disruptive innovation in semiconductor industry*. International Product Development Management, Murcia.
- Cohen, W. M. and D. A. Levinthal (1989). "Innovation and Learning: The Two Faces of R & D." *the Economic Journal* 99(397): 569-596.
- Cohen, W. M. and D. A. Levinthal (1990). "Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation." *Administrative Science Quarterly* 35 (1990): 128-152.

- Cohen, W. M., R. R. Nelson and J. P. Walsh (2000). Protecting their Intellectual assets: appropriability conditions and why U.S manufacturing firms patent (or not). NBER National Bureau of Economic Research, Working Paper 7552 (Feb): pp. 1-50.
- Couble, Y. and D. Devillers (2006). Une approche innovante du processus de rédaction de brevet. Ecole des Mines de Paris.
- Coudrain, P. (2009). Contribution au développement d'une technologie d'intégration tridimensionnelle pour les capteurs d'images CMOS à pixels actifs. Toulouse, Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace. PhD: 232.
- Coudrain, P., Y. Felk and P. Lamontagne (2010). Assembly of two parts of an electronic circuit. B10-2291FR.
- David, A. (2000). La recherche intervention, un cadre général pour les sciences de gestion? Conférence Internationale de management stratégique.
- DeVries, M. (2001). "The History of Industrial Research Laboratories as a Resource for Teaching about Science-technology Relationships." *Research in Science Education* Vol. 31: pp. 15-28.
- Doz, Y. (2006). "Knowledge Creation, Knowledge Sharing and Organizational Structures and Processes in MNCs: A Commentary on Foss N. "Knowledge and Organization in the Theory of the MNC". *Journal of Management Governance* Vol. 10(No. 1): pp. 29.
- Ehrnberg, E. and S. Jacobsson (1997). "Indicators of discontinuous technological change: an exploratory study of two discontinuities in the machine tool industry." *R&D Management* Vol. 27(No. 2): pp. 107 - 126.
- Eisenhardt, K. M. (1989). "Building Theories from Case Study Research." *Academy of Management Review* 14(4): 532-550.
- Ernst, H. (2003). "Patent information for strategic technology management." *World Patent Information* Vol. 25: pp. 233-242.
- Fabry, B., H. Ernst, J. Langholz and M. Köster (2005). "Patent portfolio analysis as a useful tool for identifying R&D and business opportunities—an empirical application in the nutrition and health industry." *World Patent Information* Vol. 28: pp. 215 - 225.
- Felk, Y. and P. Ancey (2010). C-K Theory - Innovative design and its potential applications: 3D-Integration Case-study. s. I. Week, "Journée des Experts": 59 slides.
- Felk, Y. and L. Cadix (2009). Procédé de positionnement de deux organes destinés à la fabrication de composants semi-conducteurs. GRB09-2430FR.
- Felk, Y., H. Chaabouni and A. Farcy (2009). Assemblage aligné de puces/tranches semi-conductrices. FR09/57044.
- Felk, Y. and A. Farcy (2009). Plaque d'interface entre circuits intégrés. France. Numéro de demande 0957445.
- Felk, Y., P. Le Masson, B. Weil and P. Coge (2009). Absorptive or "Desorptive" capacity? Managing Advanced R&D in semiconductors for radical innovation. 16th International Product Development Management Conference, Enschede, Netherlands, Twente University.
- Felk, Y., P. Le Masson, B. Weil, P. Coge and A. Hatchuel (to be submitted 2011). Designing patent portfolio for disruptive innovation - A new methodology based on C-K Theory.

- International Conference On Engineering Design, ICED11, Technical University of Denmark.
- Felk, Y., P. Le Masson, B. Weil and P. Cogeze (2010). Advanced R&D for pre-positioning strategies: the economics of platform-shift in high technological environments. 17th International Product Development Management Conference, IPDMC, Murcia, Spain.
- Frascati Manual (2002). Proposed standards practice for surveys on research and experimental development. OECD.
- Garel, G. (2003). Le management de projet. Paris.
- Gero, J. S. (1990). "Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design." AI Magazine Vol. 11(No. 4): pp. 26 - 36.
- Gillier, T. (2009). Comprendre la génération des objets de coopération interentreprises par une théorie des co-raisonnements de conception. École Doctorale RP2E - Equipe de Recherche sur les Processus Innovatifs. Thèse: 327 pages.
- Glaser, M. and B. Miecznik (2009). "TRIZ for Reverse Inventing in Market Research: A Case Study from WITTENSTEIN AG, Identifying New Areas of Application of a Core Technology." Creativity and Innovation Management Vol. 18(No. 2).
- Griliches, Z. (1990). "Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey." Journal of Economic Literature Vol. 28(No. 4): pp. 1661 - 1707.
- Grindley, P. C. and D. J. Teece (1997). "Managing Intellectual Capital: Licensing and cross-licensing in semiconductors and electronics." California Management Review Vol. 39(No. 2): pp. 8-41.
- Hall, B. H. and R. H. Ziedonis (2001). "The patent paradox revisited: an empirical study of patenting in the U.S. semiconductor industry, 1979–1995." RAND Journal of Economics Vol. 32(No. 1): pp. 101-128.
- Hall, B. H. and R. H. Ziedonis (2007). An Empirical Analysis of Patent Litigation in the Semiconductor Industry. American Economic Association annual meeting, Chicago.
- Halman, J. I. M., A. P. Hofer and W. v. Vuuren (2003). "Platform-Driven Development of Product Families: Linking Theory with Practice." The Journal of Product Innovation Management 20: 149-162.
- Hatchuel, A. (2001). "The Two Pillars of New Management Research." British Journal of Management Vol. 12(Special Issue): S33 - S39.
- Hatchuel, A. (2007). Design as Forcing: deepening the foundations of C-K theory. Paper read at International Conference on Engineering Design. Paris.
- Hatchuel, A., P. Le Masson and B. Weil (2001). De la R&D à la RID : de nouveaux principes de management du processus d'innovation. Congrès francophone du management de projet, AFITEP, Paris.
- Hatchuel, A. and B. Weil (1999). Pour une théorie unifiée de la conception, Axiomatiques et processus collectifs, . présentation au GIS-Cognition CNRS, , Paris.
- Hatchuel, A. and B. Weil (2002). La théorie C-K: Fondements d'une théorie unifiée de la conception. Paper presented at the Colloque "Science de la conception), Lyon, 5 - 16 mars 2002.

- Hatchuel, A. and B. Weil (2003). A new approach of innovative design: An introduction to C-K Theory. International Conference on Engineering Design (ICED), Stockholm.
- Hatchuel, A. and B. Weil (2009). "C-K design theory: an advanced formulation." *Research in Engineering Design* 19: 181-192.
- Hauser, J. (1996). "Metrics to Value R&D: An Annotated Bibliography." The International Center for Research on the Management of Technology: 80 pages.
- Henard, D. H. and M. A. McFadyen (2006). "R&D Knowledge is power." *Research Technology Management* Vol. 49(Issue 3): pp. 41 - 48.
- Hoerni, J. (1959). Method of Manufacturing Semiconductor Devices. US patent. 3025589.
- Hooge, S. (2010). Performance de la R&D en rupture et des stratégies d'innovation : Organisation, pilotage et modèle d'adhésion. Center for Management Science. Paris, Mines Paristech. PhD: 480 pages.
- Hooge, S. and A. Hatchuel (2008). Value indicators and monitoring in innovative PDM - A grounded approach. 15th International Product Development Management Conference, Hamburg.
- Hounshell, D. A. and J. K. Smith (1988). *Science and Corporate Strategy: Du Pont R&D, 1902-1980*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Iansiti, M. and J. West (1997). "Technology Integration: Turning Great Research into Great Products." *Harvard Business Review* Vol. 75(No. 3): p69-79.
- International-Roadmap-Committee (2007). "ITRS - Executive Summary Final Draft." International Technology Roadmap for Semiconductors.
- Jakubyszyn, C. and N. Cabret (2002). Motorola rejoint STMicroelectronics et Philips dans les nanotechnologies en France. *Le Monde*.
- Jelinek, L. (2009) "Is Moore's Law Becoming Academic?" iSuppli Market Research, DOI:
- Kline, S. J. and N. Rosenberg (1986). An Overview of Innovation. The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth. N. R. In Landau R, Academy of Engineering Press: 275 pages.
- Le Masson, P. (2001). De la R&D à la R.I.D: Modélisation des fonctions de conception et nouvelles organisations de la R&D. CGS - Center for Management Science. Paris, Ecole des Mines de Paris. Thèse: 475 pages.
- Le Masson, P., P. Cogez, Y. Felk and B. Weil (to be published (2011)). "Conceptual Absorptive Capacity: leveraging external knowledge for radical innovation." *International Journal of Knowledge Management Studies*.
- Le Masson, P., B. Weil, Y. Felk and P. Cogez (2010). Conceptual Absorptive Capacity: Leveraging External Knowledge For Radical Innovation. European Academy of Management, 10th EURAM, Tor Vergata University, Rome.
- Lenfle, S. (2005). "L'innovation dans les services : les apports de la théorie de la conception." *Economies et sociétés, série Economies et gestion de services* Vol. 39(n°11-12): pp. 2011 - 2036.
- Lenfle, S., S. Jouini and C. Derrousseau (2007). "New product development in a platform-driven organization: towards platform." *Academy Of Management Journal*.

- Lenfle, S. and C. Loch (2010). "How Project Management Came to Emphasize Control Over Flexibility and Novelty." *California Management Review* Vol. 53(No. 1): 1-24.
- Lim, K. (2004). "The relationship between research and innovation in the semiconductor and pharmaceutical industries (1981–1997)." *Research Policy* Vol. 33: pp. 287 - 321.
- Lindsay, J. and M. Hopkins (2010). "From experience: Disruptive Innovation and the Need for Disruptive Intellectual Asset Strategy." *Journal of Product Innovation Management* Vol. 27: pp. 283 - 290.
- Malier, L. (2009). *Les sites français de production micro-nanoélectronique - Mission confiée par Christian Estrosi (Ministre chargé de l'Industrie): 41 pages.*
- Martino, J. P. (1995). *R&D Project Selection*. New York, NY.
- Mead, C. and L. Conway (1979). *Introduction to VLSI Systems*. Boston, MA, Addison-Wesley Longman Publishing Co.
- Meyer, M. H. and A. Lehnerd (1997). *The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership*.
- Meyer, M. H., P. Tertzakian and J. M. Utterback (1997). "Metrics for Managing Research and Development in the Context of the Product Family." *Management Science* 43(1): 88-111.
- Midler, C. (1993). *L'Auto qui n'existait pas : Management des projets et transformation de l'entreprise*. Paris.
- Miller, W. L. and L. Morris (1999). *Fourth Generation R&D, Managing Knowledge, Technology, and Innovation* New-York, John Wiley & Sons, Inc.
- Mingam, H. (2005). *Organization Announcement FTM (Front-End Technology and Manufacturing)*. *Advanced R&D Organization, Advanced R&D Organization*.
- Moore, G. E. (1965). "Cramming more components onto integrated circuits." *Electronics Magazine*.
- OECD (2001). *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2001: Towards a Knowledge-based Economy*, OECD Publishing.
- PatVal-EUproject (2005). *The value of european patents : evidence from a survey of european inventors. Final Report of the Pat-Val-EU Project*. D. Science&Technology. Brussels, Contract HPV2-CT-2001-00013: 60.
- Peirce, C. S. (1871 ). *Note on the Theory of the Economy of Research*. *Operations Research*. published in July - August 1967. Vol. 15: pp. 643 - 648.
- Reich, L. S. (1985). *The Making of American Industrial Research - Science and Business at GE and Bell, 1876 - 1926*, Cambridge University Press
- Riordan, M. (2007). "The Silicon Dioxide Solution: How physicist Jean Hoerni built the bridge from the transistor to the integrated circuit." *IEEE Spectrum*: pp. 44 - 50.
- Rosenberg, N. (1990). "Why do firms do basic research (with their own money)?" *Research Policy* Vol. 19(No. 2): pp. 165 - 174.
- Rosier, R. (2007). *Stratégies et organisations des processus d'exploration: le cas de la pile à combustible chez Axane / Air Liquide* Université Paris-Est Marne-La-Vallée. PhD Thesis: 290 pages.

- Saad, K. N., N. H. Bohlin and F. V. Oene (1992). R&D de 3ème génération : la gestion en partenariat, Les éditions d'organisation.
- Sanderson, S. and M. Uzumeri (1994). "Managing product families: The case of the Sony Walkman." *Research Policy* 24: 761-782.
- Schaller, R. (2001). *Technological Innovation in the Semiconductor Industry: A Case Study of the International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS)*. PICMET.
- Schaller, R. R. (2004). *Technological Innovation in the Semiconductor Industry: A Case Study of the International Technology Roadmap for Semiconductors*. Fairfax, George Mason University. Doctor of Philosophy: 861.
- Sincholle, V. (2009). « De la gestion des brevets d'inventions au pilotage de l'innovation : Le cas d'un centre de recherche de haute technologie ». *Economie et Sciences Sociales*. Paris, Ecole Polytechnique. Thèse de Doctorat: 265.
- SNRI (2009). "Rapport du groupe de travail «sciences et technologies innovantes autour de la matière et des matériaux »." *Stratégie Nationale de Recherche et d'Innovation*.
- Stephan, P. E. (1996). "The Economics of Science." *Journal of Economic Literature* Vol. 34(No. 3): pp. 1199 - 1235.
- Stockes, D. (1997). *Pasteur's Quadrant*. Washington, DC, Brookings Institution Press.
- Thomson Scientific Professional Services (2007). *Technical Intelligence Project: Wafer Level Packaging*. THOMSON: pp. 1-42.
- Tilton, J. E. (1971). *International Diffusion of Technology: The Case of Semiconductors*. Washington, The Brookings Institution.
- Todorova, G. and B. Durisin (2007). "Absorptive capacity: valuing a reconceptualization." *Academy of Management Review* 32(3): 774-786.
- Ulrich, K. (1995). "The role of product architecture in the manufacturing firm." *Research Policy* 24: 419-440.
- Utterback, J. (1994). *Mastering the Dynamics of Innovation. How companies can Seize Opportunities in the Face of Technological Change*. Boston, Harvard Business School Press.
- Vega-Jurado, J., A. Gutiérrez-Gracia and I. Fernández-de-Lucio (2008). "Analyzing the determinants of firm's absorptive capacity: beyond R&D." *R&D Management* Volume 38(Issue 4): Pages 359-447.
- Verspagen, B. (2007). "Mapping Technological Trajectories as patent citation networks: a study on the history of fuel cell research." *Advances in Complex Systems* Vol. 10(No. 1): pp. 93-115.
- Weber, C. and E. v. Hippel (2001). "Knowledge Transfer and the Limits to Profitability: An Empirical Study of Problem-Solving Practices in the Semiconductor Industry." *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*: pp. 349 - 354.
- Weber, C. M. (2003). *Rapid Learning in High Velocity Environments*, Massachusetts Institute of Technology. Doctor of Philosophy in Management: 570.
- Wheelwright, S. C. and K. B. Clark (1992). *Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality* New York, The Free Press.



- Wildgen, W. (2004). La reconstruction d'une proto-sémantique et d'une proto-pragmatique des langues humaines. Séminaire Des langues au langage : modèles et théories à l'épreuve des faits, Ecole Normale Supérieure Paris.
- WIPO and Economics & Statistics Division (2010). Patent applications by field of technology (1990-2007), <http://www.wipo.int/ipstats/en/statistics/patents/>.
- Zahra, S. A. and G. George (2002). "Absorptive capacity: a review, reconceptualization, and extension." *Academy of Management Review* 27(2): 185-203.
- Zeiler, W. and P. Savanovic (2009). Morphology: a Tool for Design and Analysis of Design International Conference on Engineering Design, ICED, Stanford University.
- Zhang, J., Z. Liu, H. Zhang, J. Dai and R. Tan (2006). Use of TRIZ in the Process of Intellectual Property Enhancement. IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology.
- Zwicky, F. (1967). *New Methods of Thought and Procedure*. Contributions to the Symposium on Methodologies, Pasadena.

**- Partie 2 -**



---

# ***Partie 2 - Chapitre 1***

---

*La Recherche Avancée comme  
« Capacité d’Absorption Conceptuelle ».*

---

« Moins on a de connaissances, plus on a de convictions »  
(Boris Cyrulnik)

---



## LA RECHERCHE AVANCEE COMME « CAPACITE D'ABSORPTION CONCEPTUELLE »

A travers ce premier chapitre de notre deuxième partie, nous revenons une de nos publications<sup>42</sup> (à paraître dans le journal *International Journal of Knowledge Management Studies*) qui adresse la question du lien entre la recherche et les réseaux de connaissances. Comme nous l'avons vu précédemment dans notre partie de synthèse, une des notions qui permet d'instruire cette question est la « capacité d'absorption » (qui est d'ailleurs issue de travaux menés dans l'industrie des semi-conducteurs dans les années soixante-dix). Cette notion décrit la membrane entre K (les connaissances produites en externes de l'entreprise) et I (l'innovation réalisée au sein de l'entreprise), où comment des connaissances externes peuvent être acquises et valorisées en innovation. A travers un cas d'étude, nous analysons comment les travaux sur la conception innovante nous invitent à réviser et étendre cette notion. Plus précisément, nous examinons comment les équipes travaillant sur l'innovation radicale développent un nouveau type de « capacité d'absorption ».

Notre cas d'étude nous invite à distinguer deux types de capacité d'absorption. La première, qualifiée d'épistémique, correspond à une « capacité d'absorption » où les règles de conception sont stabilisées et les champs de recherche structurés. La seconde est qualifiée de « conceptuelle » et est relative à l'innovation radicale. Cette « Conceptual Absorptive Capacity » a pour but de permettre l'exploration de nouveaux concepts en s'appuyant sur trois mouvements :

- (1) La desorption qui permet de se défaire d'effets de fixation.
- (2) La construction de « Hook », qui permet de travailler la sensibilité aux 'bruits faibles' (i.e l'apparition de nouvelles connaissances').
- (3) La stimulation du milieu : qui permet de dépasser la tentation de n'explorer que des typologies de connaissances pré-définies.

Cette capacité d'absorption souligne l'utilisation des connaissances préexistantes de manière contre-intuitive, en effet, il s'agit de se défaire de certaines de ces connaissances pour stimuler la production de nouvelles connaissances en externe. Cette définition de capacité d'absorption conceptuelle est issue d'une analyse des raisonnements de conception assez fine que nous avons réalisé sur plusieurs projets de R&D qui a fait l'objet d'une présentation à la conférence IPDM 2009 (*International Product Development Management*) et que nous présentons en Annexe 1 de ce manuscrit.<sup>43</sup>

Ce premier travail expérimental nous a donc amené à revisiter le rôle de cette 'capacité d'absorption » par rapport aux représentations classiques des transferts de connaissances. En effet, nous avons montré en quoi la recherche avancée qui a souvent été considérée comme une façon d'améliorer la « capacité d'absorption » de l'entreprise nous invite à distinguer deux formes de capacité d'absorption : la première épistémique, la seconde conceptuelle. Nous enrichissons donc le concept de « capacité d'absorption » en soulignant le rôle des concepts créatifs, vis-à-vis de la

---

<sup>42</sup> Le Masson, P., P. Coge, Y. Felk and B. Weil (to be published (2011)). "Conceptual Absorptive Capacity: leveraging external knowledge for radical innovation." *International Journal of Knowledge Management Studies*.

<sup>43</sup> Felk, Y., P. Le Masson, B. Weil and P. Coge (2009). Absorptive or "Desorptive" capacity? Managing Advanced R&D in semiconductors for radical innovation. 16th International Product Development Management Conference, Enschede, Netherlands, Twente University.

production de connaissance externe. Les activités de recherche avancée ont pour but d'augmenter ce second type de capacité.

# CONCEPTUAL ABSORPTIVE CAPACITY: LEVERAGING EXTERNAL KNOWLEDGE FOR RADICAL INNOVATION

Pascal **LE MASSON**<sup>1</sup>, Patrick **COGEZ**<sup>2,3</sup>, Yacine **FELK**<sup>1,2</sup>, Benoit **WEIL**<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup> MINES Paristech, CGS- center for management science.

<sup>(2)</sup> Technology R&D, STMicroelectronics, CROLLES, France.

<sup>(3)</sup> Grenoble Ecole de Management, GRENOBLE, France.

patrick.cogez@st.com, lemignon@ensmp.fr, bweil@ensmp.fr, yacine.felk@ensmp.fr

## ABSTRACT

We examine how teams working on radical innovation develop a novel type of Absorptive Capacity (AC) to make use of external knowledge. In the setting of the semiconductor industry, which has long been an industrial reference for the literature on innovation, we are able to compare AC in incremental innovation and AC in radical innovation. Our central contribution is a framework of how radical innovation teams leverage external knowledge using a specific type of AC. By contrast with absorptive capacity in incremental innovation, which can be considered as an “epistemic AC” (EAC), based on a stable set of design-rules to address pre-identified problems, this other type, which we label “conceptual AC” (CAC), is based on “refined visions”. We identified three facets of CAC: 1) “desorptive capacity” enables radical innovators to overcome fixation effects and break from the known to “out-of-the-box”, 2) “hook building” enables radical innovators to overcome cognitive crisis and isolation and link the unknown to multiple cognitive references and 3) “milieu stimulation” helps to overcome the temptation to limit exploration to existing knowledge by supporting the creation of new knowledge in the milieu. This capacity makes use of prior knowledge in multiple, counterintuitive ways, and is able to strongly influence organizations, strategy and mental models so that classical AC determinants become dependant variables in the CAC model. Our most important contribution is the reinvigoration of the study of the link between knowledge and innovation by underlining the role of creative concepts via a productive use of external knowledge in radical innovation.



## INTRODUCTION

Absorptive capacity is one of the most important constructs to emerge in organizational research in recent decades for gaining insight into the link between knowledge and innovation. In 1989, Cohen and Levinthal analysed the role of R&D in this context and distinguished “information generation” and the “ability to assimilate and exploit existing information” for innovation purposes (Cohen and Levinthal 1989). They proposed a model of this second, less recognized capacity. They define Absorptive Capacity (AC) as the organizational capability to organize value and assimilate external knowledge in order to increase firm innovativeness. They assume that AC is a dynamic capability that depends on prior related knowledge in the form and combines value recognition of the missing knowledge, its assimilation and application.

Generally speaking, absorptive capacity literature focused on the capacity to make use of existing knowledge, placing emphasis on the capacity to assimilate and transform it and the necessity for a firm to accept external knowledge as a legitimate resource for innovation. (Katila and Ahuja 2002; Laursen and Salter 2004; Rothaermel and Thursby 2005; Todorova and Durisin 2007)

However, only limited investigations have been done on absorptive capacity with respect to radical innovation (Lane, Koka and Pathak 2006) (p. 2005). In the case of radical innovation, one notion of the “absorptive capacity” model becomes critical, namely “value recognition”: how to recognize value when it is not linked to past products and competences? How can a company identify the knowledge it needs for radical innovation? Moreover how to identify the relevant knowledge producers for this missing knowledge? The notion of “value recognition” is often advocated in recent studies (see for instance Todorova and Durisin (Todorova and Durisin 2007)) but they do not explain how this capacity can be enhanced for radical innovation. This question of radical innovation is all the more important for the notion of AC that, from a purely formal point of view, radical innovation provokes paradoxes in AC: on the one hand radical innovation would require more external knowledge and hence more absorptive capacity; but on the other hand radical innovation requires to break design rules and breaks in “prior related knowledge” that could impede breakthroughs, so that if one considers, as do Cohen and Levinthal, that AC is largely a function of the firm’s level of prior related knowledge, then radical innovation should decrease AC. **Hence our research question: how can AC support RI? Or more precisely: what kind of AC can support RI?**

We begin by analyzing formally the relationship between radical innovation and AC: we underline how they are, a priori, contradictory and we analyse classical approaches, that tend to consider that AC support of radical innovation is in the proportion to the breadth of knowledge domains; we show that these approaches are actually weak compromises. This analysis leads to clarify three specifications that an AC for radical innovation should meet: the ability to help to overcome fixation effect of knowledge, the ability to identify multiple research spaces through generative metaphors, the ability to help to create new knowledge to explore original frames of the innovation issue. We next detail our methodological approach to discover and analyze the new type of AC that can support radical innovation: since we want to identify a new phenomenon that has not yet been described in the literature, we need specific research material and analytical methods: we conduct an in-depth comparative case-study supported by the most recent techniques to follow collective design reasoning. We then present the results of our analysis, describing three facets of a new type of absorptive capacity: desorptive capacity, hook building and milieu stimulation. We show some properties of this new type of AC, that we call conceptual absorptive capacity: that it explains successful Radical Innovation, it is complementary with the classical AC, which we label

epistemic AC, it supports strong “feedback” ie CAC tends to reshape organizations, mental models and strategy.

## **PART 1. WHAT KIND OF AC CAN BE COMPATIBLE WITH RADICAL INNOVATION? THEORY AND RESEARCH HYPOTHESES.**

### **1.1. Why is AC a priori contradictory with radical innovation: the logic of rule breaking.**

According to Lane et al. (Lane, Koka and Pathak 2006), there have been very few studies on the relationship between AC and radical innovation. (Tushman and Anderson 1986; Van Den Bosch, Volberda and De Boer 1999) We hence have to address the most basic questions: is there a relationship between AC and radical innovation and is it a positive one? (Kogut and Zander 1992; Van Den Bosch, Volberda and De Boer 1999; Lane, Koka and Pathak 2006) What is the kind of AC needed to positively influence Radical Innovation?

Literatures on radical innovation and AC provides us, separately, with some elements. Coming back to the definitions of Radical Innovation and AC we are struck by the fact that they rather lead to tensions in the notions of Radical Innovation and AC. To begin with Radical Innovation, the terminology on “non-incremental” innovation is quite rich: radical (O'Connor 1998), breakthrough, discontinuous (Birkinshaw, Bessant and Delbridge 2007), really new (Garcia and Calantone 2002), major (O'Connor 2008), exploratory (Benner and Tushman 2003; Jansen, Van Den Bosch and Volberda 2006),... Following classical approaches (Abernathy and Clark 1985; Benner and Tushman 2003), innovations are classified along two dimensions: the proximity to the current technology trajectory and the distance to the current markets. In this framework, exploratory innovations are radical innovations, designed to meet the needs of emerging customers and markets. They offer new designs and create new markets (Abernathy and Clark 1985). Of particular relevance for AC study, this type of innovation requires new knowledge or a departure from existing one (Levinthal and March 1993; McGrath 2001; Benner and Tushman 2002), it requires “the organization to move into uncharted territory, where reliance on experience, current knowledge assets, and loyal customers is not an advantage” (O'Connor 2008).

This last sentence sounds as a deep contradiction with AC as it is often determined by “prior related knowledge”. Analyzing this contradiction in more depth, by using the reference definition of Cohen and Levinthal (Cohen and Levinthal 1990): absorptive capacity is “a firm’s ability to recognize the value of new, external information, assimilate it and apply it to commercial ends”. They consider that this capability “is largely a function of the firm’s level of prior related knowledge”. In case of radical innovation, following O'Connor, “prior related knowledge” might not be “related” anymore. This is particularly critical for the first component of AC, namely value recognition (or “exploratory learning” as mentioned in recent works (Lane, Koka and Pathak 2006)): value recognition is precisely the ability to recognize external knowledge to get some value. This implies that there is some “prior knowledge” on what makes value (for instance market knowledge, etc.) and some knowledge to recognize relevant knowledge to obtain that value (for instance: some knowledge on technological alternatives). As explained by Lane et al. (Lane, Koka and Pathak 2006) “the prior knowledge of the firm [...] influences the assessment of the value of new external knowledge” (p.857). But in Radical Innovation, this “prior knowledge” on market and technologies might be obsolete. Radical Innovation situations would deeply undermine prior knowledge, and hence AC.

Nevertheless prior related knowledge is only one of the determinants of AC, and should not be confused with AC itself (Lane, Koka and Pathak 2006). Recent works extended the list

of AC determinants. (Henderson and Clark 1990; Kogut and Zander 1992; Henderson and Cockburn 1994; Grant 1996; Van Den Bosch, Volberda and De Boer 1999; Jansen, Van Den Bosch and Volberda 2005) They were integrated in a general framework in Lane et al. (Lane, Koka and Pathak 2006), which added firm member's mental models, firm's structures and processes and firm strategies to prior knowledge. All these determinants are actually *design rules*, i.e. a set of knowledge for actions (routines) that people use in companies to develop new product for an incremental innovation. Firm's members consider them as stable basics to structure (i.e. to constrain as well as to enable) value recognition and knowledge acquisition and use. But Radical Innovation might require changes in firm strategy, firm member's mental models and even firm's structures and processes, i.e. changes in the design rules, hence undermining AC (see figure below)

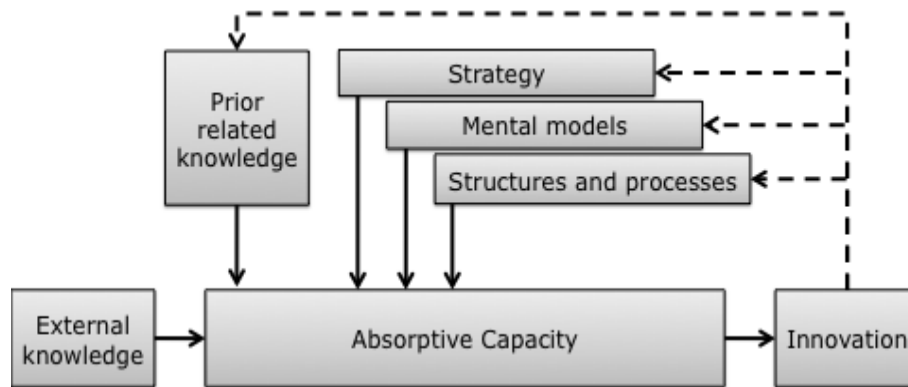


Figure 1: simplified model of AC (from (Lane, Koka and Pathak 2006))

This short review of literature underlines that the determinants of AC are *all based on a set of design rules that constrain as well as enable AC*. The reference model of AC is “rule based”, or, to use a Foucauldian term (Foucault 1966), an “epistemic” model of AC, i.e. a model of AC based on a relatively stable episteme (representation of things, of competitions, of competences, of markets,...). *Radical innovation situations tend to break the stable set of design rules, on which the epistemic AC is based, and hence they might severely undermine firm's epistemic AC.*

## 1.2. The weak compromise between AC and radical innovation: the breadth of the knowledge domains.

However, this leaves us with a strong paradox since in case of Radical Innovation, it is particularly relevant to be able to use external knowledge (Van Den Bosch, Volberda and De Boer 1999; Benner and Tushman 2003; Lichtenthaler and Lichtenthaler 2009), all the more so that internal knowledge has become less valuable.

Previous works have solved this paradox by emphasizing the importance of the breadth of related knowledge. In the seminal paper of Cohen and Levinthal, the authors explain that in “conditions of rapid and uncertain technical change”, it is best for the organization to expose a “fairly broad range of prospective ‘receptors’ to the environment” (Cohen and Levinthal 1990), as suggested in “organic structures” (Burns and Stalker 1961). One issue in radical innovation is then to cover a “range of loosely related knowledge domain” that is broad enough (Lane, Koka and Pathak 2006). Done internally, such an exploration would be constrained by the scarcity of resources and could mean high risk and financial exposure. But the access to external knowledge eases the constraints (Katila and Ahuja 2002; Gupta, Smith

and Shalley 2006) so that “potential negative effect of excessive internal exploration are likely limited in external knowledge exploration” (Lichtenthaler 2009). (Kogut and Zander 1992; Szulanski 1996; Van Den Bosch, Volberda and De Boer 1999; Lane, Koka and Pathak 2006; Todorova and Durisin 2007; Lichtenthaler 2009)

This view is valid as long as the innovation is not “too radical”, ie as long as the innovation issue does actually require quite a lot of prior knowledge. This fits well with the representation of innovation challenge as a problem solving, as it is claimed by Cohen and Levinthal in their seminal work: based on Simon works (Simon 1985), they assimilate problem solving to creativity (see p.130-131). In this framework, to innovate is to find a solution in a complex search space (or problem space), while the dimensions of the search space and the attributes of the “good” solution are known. For instance the design of an electric car would be considered as “finding the combination of motor, battery, suppliers,... that meet the requirements x, y, z...” where all the batteries, motors, etc... and all the requirements x, y, z are known (and possibly even the algorithm to find the solution). Hence prior related knowledge is defined as all the knowledge that enables to deduce the solution.

Suppose now that one piece of knowledge is missing (component or architectural knowledge) in the knowledge base of which the organization is making use: this is a type of radical innovation. The organization might have anticipated this mismatch with prior related knowledge, having extended its range of possible component or combination beyond its usual knowledge base. For a limited number of missing pieces, the broader the range of knowledge domains, the higher the probability to fill the gap.

Suppose now that the innovation issue requires a lot of new knowledge and this new knowledge can not be anticipated easily. For instance if the design brief is: “an electric network for vehicles”: this “innovation issue” is not a “problem” in the strictest meaning given by Simon. What is an electric vehicle? What kind of network? For whom? For which customers, users and usages? For which business model? With which technologies? There is no components list, no given evaluation criteria, **no “well-identified” problem space**. In this type of innovation issue, there appears a potentially infinite number of missing pieces. Then the required “breadth” might be exceedingly large. Hence there appears a kind of “balance”, a compromise between innovation radicality and AC based on prior related knowledge. This leads us to conclude that the “breadth of knowledge domain” explains only a weak (still positive) relationship between AC and radical innovation. In case of stronger radicality, this positive relationship might be severely undermined.

One should underline that such extreme “radicality” is not so rare since some companies are today seeking for “major innovation” (O'Connor and DeMartino 2006) to *intentionally* break design rules. They intentionally try to destroy competences to gain competitive advantage. They do not try to innovate *while* limiting competence destruction; they radically innovate *in order to* change the knowledge base. (Eisenhardt 1989b; Brown and Eisenhardt 1997; Lichtenthaler 2009)

Up until now we have argued that AC and radical innovation are not self-evidently positively related: of course the use of external knowledge might be relevant for radical innovation, but radical innovation tends to destroy competences and the design rules that underline (epistemic) AC components (value recognition) and determinants (Prior Knowledge, firm strategies, mental models,...) so that it is also AC destroying (epistemic). We have also shown that the classical hypothesis of the “breadth of knowledge domain” explains a weak correlation between AC and radical innovation. We see now a clear gap in the literature: in case of strongly radical innovation situation, what is the relationship between AC and radical innovation? what are the components of AC that could possibly induce a positive relationship between AC and radical innovation?

### 1.3. Research questions: beyond epistemic AC, towards an extended model of AC

To formulate some propositions regarding this relationship, we follow a cognitive approach, like Cohen and Levinthal's seminal paper. Recent progress in cognitive sciences on design and creativity help us to characterize radical innovation issues, beyond problem solving.

1- Radical innovation issues correspond to so-called "ill-defined" (Simon 1969; Simon, Newell and Shaw 1979; Schön 1990) or "wicked" problems (Rittel 1972; Rittel and Webber 1972; Dunne and Martin 2006), ie a 'problem' without 'problem space', without set of constraints, without pre-given criteria for being 'right or wrong'. Even the term of "problem" is misleading in such a situation, that's why we rather speak of an "innovation issue".(Alexander 1964; Simon, Newell and Shaw 1979; Schön 1990; Amabile et al. 1996; Sutton and Hargadon 1996; Dunne and Martin 2006)

In the classical understanding of AC, prior related knowledge, is actually "related" to the "problem space" (Cohen and Levinthal 1990). In a radical innovation issue, there is an intermediary step to relate the radical innovation issue to one or several problem spaces (Simon 1969), but the contribution of AC to this step is not precisely analyzed in the literature. Interestingly enough, it is possibly based on "models" (Alexander 1964), or "generative metaphors" (Schön 1990), hence on *knowledge*, but these models or metaphors are not deterministically related to the innovation issue itself. This leads us to a key research question: **how does AC support the "forming" of the problem spaces?**

Note that the classical determinants actually seem to play a role in this "forming" of the problem space: one would argue that the "models" or metaphors are actually determined by determinants examined above (combinative capability, firm strategy, firm members' mental models, firm's structures and processes and even prior related knowledge itself). But they are usually considered as constraints on the framing process and on the gathering and memorizing of prior related knowledge useful for solving the problem space. In this perspective, the question becomes: how could AC *not be constrained by them* but rather *could AC help to change and expand mental models, strategies and combinative capabilities?* We have to analyze how AC can help to overcome what is usually considered as constraints. This suggests that in radical innovation situation the AC model has to more deeply integrate the feed back loop from AC outputs (innovation, knowledge) to determinants (Van Den Bosch, Volberda and De Boer 1999). In radical innovation situation AC should act on its own determinants, so that the variables that appear as control variable in incremental situations become dependant variables in radical innovation situations.

**As a consequence, if AC plays a positive role in Radical Innovation, we should identify a component of AC that supports the "forming" of the problem space through "generative metaphors" or models.**

2- Not only is Radical Innovation destroying design rules and Prior Knowledge but it is also impeded by prior related knowledge. This is extremely well analyzed by Henderson and Clark (Henderson and Clark 1990) or exemplified by the notion of core rigidity (Leonard-Barton 1992). Argote mentions that existing knowledge can be a disadvantage if managers generalize too much from past situations (Argote 1999). This effect is known in cognitive science and group psychology as a "fixation effect": the individual (Finke 1990; Jansson and Smith 1991; Finke, Ward and Smith 1992; Smith, Ward and Schumacher 1993; Ward 1994; Ward, Smith and Finke 1999) as well as the group (Diehl and Stroebe 1987; Mullen, Johnson and Salas 1991; Paulus and Dzindolet 1993) (Brown et al. 1998; Paulus, Brown and Ortega

1999; Paulus, Larey and Dzindolet 2000) tend to be stuck by existing knowledge and design rules into one (or a limited number of) problem space(s).

This effect was often analyzed as “path dependency” in AC building (Cohen and Levinthal 1990): existing Prior Knowledge leads to explore only some innovation areas and to neglect others. But in RI, *a useful AC should be able to counteract the fixation effect*, hence supporting a logic of “regime transition” (Geels 2004; Schot and Geels 2007). **Hence if AC plays a positive role in radical innovation, we should identify a component of AC that helps to overcome the fixation effect of prior related knowledge.**

3- As radical innovation destroys prior related knowledge, radical innovation is impeded by prior related knowledge and, last but not least, radical innovation might lead to a clear lack of knowledge. It is already well-established that radical innovation requires knowledge creation, and not only knowledge transfer (Eisenhardt and Martin 2000). This learning process can take the classical form of uncertainty reduction (validation), organized in the logic of experimentation (Simon 1969; Wheelwright and Clark 1992; Thomke 1998; Thomke and Fujimoto 2000), reducing technical as well as market uncertainty. In this case learning is seen as a test of hypothesis, with a clear link between action and the outcome. However Van de Ven et al. have underlined that in exploratory situation, learning cannot have this meaning since the link between action and outcome can appear chaotic (at least in certain phases of the journey) (Van de Ven et al. 1999): action creates unexpected knowledge and, after a while, all the unexpected knowledge can lead to a creative product. This process can be purely chaotic, the random creation of knowledge (on preferences, on technologies, on actions patterns,...) “increasing the likelihood of making creative connections between means and ends” (p. 88). This serendipity pattern is not the only one: Schön (Schön 1983; Schön 1990) describes how designers in wicked problems intentionally act and put themselves in knowledge creating situations to generate the emergence of unexpected solutions spaces. There is here an *intention in the creation of an “expected surprising knowledge”*, a piece of knowledge that is expected to be surprising, different from the classical expectations. The designer acts to be able “to come to see the situation, design trials, and criteria of fit in new ways”; he has a capacity to set himself in situations in which “running the maze changes the maze » (p. 128). Hence knowledge creation and learning do not only occur during the solving of the solution space but even during the framing of the solution space itself.

One has already underlined how the classical approach of AC tackles this topic of missing knowledge: in the “weak compromise” between AC and Radical Innovation, AC contributes to increase the probability that the lack of knowledge is compensated by external knowledge. AC avoids knowledge creation in situations where the lack of knowledge was only subjective (knowledge was externally available). If there is a strong, positive relationship between AC and Radical Innovation, we should actually identify a component of AC that helps to create the knowledge that supports an original framing of the solution space. **AC would still be a capacity to use external knowledge, but based on the capacity to order and organize the outside creation of new knowledge.**

One could therefore expect that some components of AC, rarely identified until now and different from the components of EAC (value recognition, assimilation, application), could have a positive effect on Radical Innovation. We raise three exploratory propositions for another type of AC that would be able to support radical innovation: the analysis of the main features of a radical innovation situation underlines that such an AC should 1) help to “frame” the problem space(s) through generative metaphors, 2) help to overcome the fixation effect

and 3) help to stimulate the outside creation of new knowledge relevant to the newly framed problem space(s).

## **PART 2. METHOD: EXPLORATORY CASE STUDY TO UNCOVER A NEW TYPE OF ABSORPTIVE CAPACITY**

In this article we investigate what type of AC is needed to be able to use external knowledge in Radical Innovation situation. Since this type of AC is until now not described, we need to conduct an exploratory research in a situation where we have radical innovation and the use of external knowledge. To conduct a fruitful exploration we need 1) a “reference” to be able to place as many variables as possible under control; 2) a “microscope” to be able to observe AC, i.e. to observe how people are able to make use of external knowledge and how it supports radical innovation.

### **2.1. Experimental configuration and sample structure: comparative case study**

We used an inductive, case-study research design (Eisenhardt 1989a), a methodology appropriate given the dearth of knowledge available in this field of research on radical innovation and AC. Case-study research is especially appropriate for research into new topics and new technologies (Eisenhardt 1989a; Siggelkow 2007).

We have selected our case in the semiconductor industry (“next generation imagers” at one of the leading global semiconductor manufacturers, STMicroelectronics, (ST)). We build a reference based on well known and well described phenomena of AC in the incremental innovation situation and we compare AC in radical innovation situation with this reference. In this way we ensure that the differences we find are strictly associated to the differences in the type of AC and the type of innovation. We study at STMicroelectronics two types of teams working both on the “next generation Image sensor”, working both by using external knowledge (AC), but one type of team works to get radical innovation, whereas the other type tries to design the next image sensor generation without radical innovation. This strange configuration is due to the company context, ST, which purposefully dedicated two types of (complementary) teams to prepare for the “next generation image sensor”, one type of team being in charge of keeping the design rules while the other was precisely in charge of breaking the design rules. Since both types of teams are using external knowledge resources, we have here a suitable comparative case to analyze how *the intention of radical innovation and incremental* (yes or no, independent variable) *led to specific type of AC* (a dependant variable).

#### **Study population.**

STMicroelectronics meet the radical innovation criteria: in the semiconductor industry a number of radical innovation emerged in recent years. The innovations were first due to the necessity to follow the Moore’s law, ie to double the number of components that can be incorporated per integrated circuit every two to three years, essentially by shrinking the basics pattern (a kind of very intensive miniaturization that has led since several years at the frontier of the known world of nanophysics). Second this innovation is also required to explore “more than Moore” paths (see the reports of the industry itself, (ITRS 2007)), i.e. new innovation directions that are not (only) related to shrinking the basic pattern. For instance semiconductor industry today not only address needs for memory and computing power but also provide

sensors for photons (imagers for mobile phone camera) or for movement (gyro meters for smart phones).

In the semiconductor industry, AC is also particularly relevant. Being strongly science-based, it relies heavily on knowledge production, and more precisely on external knowledge production, each industry player is linked to a network of knowledge producers.

Interestingly enough Cohen and Levinthal noted that semiconductor industry was among the first to clearly state that they invest in R&D to strengthen their capacity to “assimilate new technology developed elsewhere” ((Tilton 1971), cited by Cohen and Levinthal 1989). *Revisiting this seminal study was one of the main reasons to study R&D absorptive capacity in semiconductor industry.*

## **2.2. Data collection**

We focus data collection on tracking the capacity to use external knowledge in innovation projects, over several years. We access to the main designers, we discuss with them the use of highly technical knowledge and follow complex design reasoning. We access not only designers inside the company but also knowledge producers and providers outside. We also triangulated with archival sources (including publications in the field –papers, patents-, conferences, external technical sources,...). We use three primary sources: archives, interviews and participant observation. One of us worked for 2 years as a researcher at STMicroelectronics with a mission to understand the innovation process and the capacity to use external knowledge. Moreover two of us were technically knowledgeable in the field they had to study.

In -depth interviews were made with the main designers of the company working on the topic, each lasting from 30mn to 2 hours. The first interview guide had two main sections. The first section was composed of open-ended questions on the design process, the use of external knowledge and the overall picture of the projects of the case study. The second section focuses on the particular project the designer was or is working on.

The experts were also observed in action since the researchers followed several steering committees of the projects. The use of multiple informants and the observation of meetings mitigated the potential bias of any individual respondent by allowing information to be confirmed by several sources (Golden 1992; Miller, Cardinal and Glick 1997). It also enables inducing richer and more elaborated models because different individuals typically focus on complementary aspects of the collective design process (Schwenk 1985; Dougherty 1990).

Since we studied the use of external knowledge, we also gathered archival data (publications, patents, reports, public information in magazines...) and data coming from external informants. We had interviews with some external knowledge providers in various labs around the world and with competitors. This helped to mitigate the potential “company inside” bias by triangulating with data from outside.

An historical perspective was gained through archival data (see above) and by interviewing the designers who worked on past projects, inside the company or outside. In this historical perspective we select a first set of interviewees mentioned by those actors (active at present) and extended the set by interviewing the main actors named by each interviewee. We stop extending the set when no new name emerged from the interviews. This rich material reduces the potential retrospective bias by triangulating data, matching real time archival data with the retrospective accounts. Allowing reconstruction of the histories of design processes in rich detail from various viewpoints.



	<b>STmicroelectronics</b>	
Domain	Semiconductor, science based	
Use of external knowledge (AC)	High: knowledge intensive, sector where the AC notion was born (Tilton 1971)	
Context	Intentionally non RI	Intentionally RI
Archival sources	Reports, Patents, PhDs, publications	
Number of internal interviewees, interviewed individually	22	10
Internal informants	Project leaders, BU director, R&D director, Operations director	
Number of external interviewees interviewed individually	26	
External informants	Competitors (US, Europe), Researchers in research labs (US, Europe,...)	

*Table 1 : Image sensor case data*

### 2.3. Data reduction and coding

Lane et al. (Lane, Koka and Pathak 2006) have underlined the limits of proxies of AC. In our case we pay a particular attention to this issue since we want to identify new dimensions of AC. We favor a detailed empirical analysis avoiding proxies. Moreover we need to follow complex collective, cognitive processes in innovative design situations, ie to analyse how people frame problem space(s), how they build and use generative metaphors, and how they target knowledge creation. We actually have to reconstruct collective design reasoning, based on data collected in each empirical situation and on high level analytical, design related tools. To his end we needed a thorough “observation instrument”. We rely on the most recent theory of design reasoning, the C-K theory (Hatchuel and Weil 2003; Kazakçi and Tsoukias 2005; Hatchuel and Weil 2007; Hatchuel and Weil 2009), to get a rigorous observation instrument to follow the cognitive process of innovation and knowledge production.

The C-K theory describes a design reasoning as the interaction between two spaces, the concept space C and the knowledge space K. Design begins with an initial concept, a proposition that is neither true nor false ie is undecidable in the K space (called a disjunction). Such a design brief can not be said to be feasible or unfeasible, marketable or not,... Actually, the above mentioned “electric car system” was a concept. In our cases, “next generations of image sensors” was a concept. The design process consists in refining and expanding the concept by adding attributes coming from the knowledge space (the imager can be based on existing CMOS technologies or not, it can require the design of a new stack or not,...). The process can also lead to the production of new knowledge (eg: a new Si-based coating, a new etching process, a capacity to drill, stick, assemble and connect Si-wafers...) to be used in the design process. The initial concept set is actually step by step partitioned in several, more refined, subsets. The process unfolds until one refined concept is enough specified enough to be considered as true by the designer: the concept becomes a piece of knowledge (this is a conjunction). This often means that the concept becomes a manufacturable and marketable product. We checked that the conjunction correspond to commercial products. The generic structure of a design reasoning is presented in the figure 3 below (source: (Hatchuel and Weil 2009))

The C-K framework helps to encode the data coming from interviews to get a complete picture that accounts for the collective, cognitive processes. We tracked the expansion of

knowledge space, expansion of the conceptual brief into several, varied alternatives,... When data was missing or some links between C and K were unclear we went back to the actors to get more information (complete with new data, confirm shortcuts in collective reasoning,...). In this sense this very general and abstract framework helped to control data consistency. This detailed picture helps to identify the pieces of knowledge used in the organization (including strategy, organizations and mental models) to develop incrementally new products. These are the design rules, ie the routines of action for incremental innovation. We can then identify whether designers in radical innovation situations make use of existing design rules (Baldwin and Clark 2000; Baldwin and Clark 2006) or create new ones, how designers are able to define missing knowledge characteristics (from C to new K) and how it leads to produce new knowledge (from K to new K).

In parallel to this cognitive perspective, we also analyse relational phenomena by identifying relevant actors, the types of relations between them, the structures of organizations and their activities. In particular we follow the role of “research actors” and the knowledge providers (internal or external sources of knowledge). We were able to link all the knowledge pieces of the C-K graphs to the actors that propose and use it, hence identifying when external knowledge was provided, who did provide it, and who requested/used it.

Such an analytical framework has already been successfully used in several cases (Elmqvist and Segrestin 2007; Elmqvist and Le Masson 2009; Gillier et al. 2010).

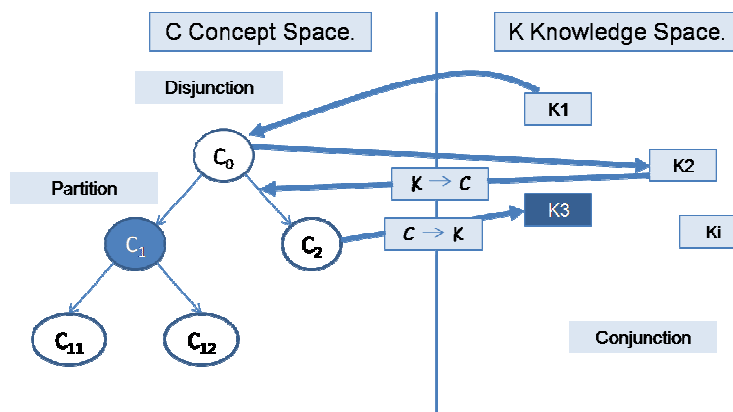


Figure 2: The generic pattern of a design reasoning in the C-K design theory (Hatchuel and Weil 2009)

This method first helps to rigorously confirm that we are in the typical situations we wanted to have: 1) we can check that the project team is using knowledge from outside. We objectify absorptive capacity, avoiding misleading proxies. 2) we check radicality of innovation by checking that the team in the radical innovation project breaks a design rule that is used in the incremental innovation project. The design rule appears first in K space with the incremental innovation team and appears broken in C with the radical innovation team. 3) We check with experts in the field the facts that the conjunctions (results of the design process) correspond to “real” innovations (i.e. translate into products or prototypes).

The method also helps to study the processes that designers follow in order to innovate radically while using external knowledge. This method helps to structure data coming from design activities and to identify patterns in the different situations (Miles and Huberman 1994). We developed an understanding of the types of AC in each case study, which we reconciled by going back several times to the data and back to the informants. We followed an iterative process of cycling among theory, data, and literature to refine our findings, relate

them to existing theories, and clarify our contributions. This resulted in a theoretical model of a type of AC, called Conceptual AC (CAC), that is different from classical AC, which we relabel epistemic AC (EAC), and which is oriented towards radical innovation.

We identify three aspects of CAC: disruptive capacity, framing capacity and the capacity to open critical paths through knowledge production. Categories were developed deductively (based on existing theories and concepts on radical innovation and underlying cognitive capacities for radical innovation) and inductively (derived from the collected data). The deductive section was constructed before the interviews took place (see above literature review and the questionnaire). The inductive component of the coding system reflects the exploratory nature of the study. Because we were researching a new topic area, we expected to discover patterns and factors not yet discussed in the literature.

### **PART 3. RESULTS: UNCOVERING A NEW FORM OF AC IN RADICAL INNOVATION SITUATIONS**

In presenting the findings we first provide brief descriptions of the cases. We follow this by analyzing each case, utilizing the major research questions of our study.

#### **3.1. Image sensors at STMicroelectronics**

One of the major businesses of STmicroelectronics is the design and manufacturing of image sensors, one of the main building blocks in a digital imaging system such as digital still or video camera. The market for image sensors has been experiencing explosive growth in recent years due to the increasing demands of mobile imaging, digital still and video cameras, internet-based video conferencing, surveillance and biometrics. With over three hundred million parts shipped in 2007 and an annual growth rate over 25%, image sensors have become a significant silicon technology driver. The image sensor became a central business for STMicroelectronics almost ten years ago when it became possible to build low-cost image sensors on the basis of the classical technologies used for microprocessors (CMOS technologies), thus creating a market of cameras for the mobile phone. Just as the microprocessor industry follows the Moore's law, every two years for the last ten years the CMOS image sensor industry has developed a new generation of products that improves the sensor resolution by reducing the size of each individual pixel that composes an image sensor. But each surface reduction tends to decrease the performance of the single pixel, since each one receives less light. Therefore one of the main challenges consists in shrinking the pixel size without decreasing the pixel performances.

To meet the challenges of designing the next generations, several innovation projects are launched ranging from classical improvement to more discontinuous projects. At ST two types of projects are clearly distinguished. D-projects (development projects) are optimizing existing architectures to get the required performance for the very next generation. Advanced R&D (ARD) projects are in charge of exploring the ways to get radical enhancement of the imager through breakthroughs in architectures and processes. On imagers, the two types of projects are very different in size: D-team gather 15 to 20 people (full time job) per year vs. 1 to 3 people (full time job) per year on ARD projects. We followed the D and ARD projects on the development of the next image sensor generations during the period from end 2005 to 2008. D projects are: the so-called 175-generation (launched in 2007), the four "grades" projects in this generation (i.e. projects to improve the 175 generation), three "experts"

projects in charge of developing expertise for the generation and the development project for the following generation (so-called 140-generation). There was one ARD team in charge of exploring alternate concepts for the following generations, working from 2005 to 2009.

D-teams perform very well since ST was able to stay on the roadmap and propose the right generations of product in the period. ARD teams perform also well since ST was among the first to present breakthrough prototypes of rule-breaking technologies (second in backside<sup>1</sup> prototypes, first in 3D prototype).

In such a science based industry, all teams exhibit some absorptive capacity, i.e a capacity to make efficient use of external knowledge. In semiconductor industry the external milieu provides a lot of knowledge through publications, conferences, etc. Hence STMicroelectronics teams are supposed to make use of the knowledge provided by external research labs, suppliers, customers, competitors, etc. We compared how D-teams and ARD teams make use of external knowledge.

### **3.2. Observations**

We develop each facet of conceptual absorptive capacity in detail next. For each we study the classical aspects of absorptive capacity: 1) the role of prior related knowledge, considered as one major determinant of AC in EAC models 2) the role of strategic vision, organization and mental models, which are considered as moderators (control variables) in EAC models 3) the effect of each facet on the use of external knowledge for radical innovation. For each we compare the case of interest with the reference to ensure that the facet is a characteristic feature of a new type of AC, different from the classical EAC. We evaluate the effect of the facet on AC and the radical innovation output.

#### **3.2.1. Rule-breaking capacity**

In radical innovation situation, ARD teams designers at ST face an ambiguous situation where there is a lot of knowledge available to work on their project (scientific, technological, business knowledge,...) but they feel that using directly this knowledge is very likely to impede radical innovation. Our data suggest that designers in such situations actually organize to break design rules to avoid the immediate reuse of existing knowledge. This is a clear difference with classical AC in incremental situation. The C-K representation of these different design trajectories is given in figure 4.

---

<sup>1</sup> In the “classical architecture” CMOS image sensor, light travels to the photo-diode by traversing the interconnect layers that are build on top of the silicon substrate during the process. In the “backside” image sensor, the light is entering the sensor from the opposite side, and traverses the substrate to reach the photo-diode region.

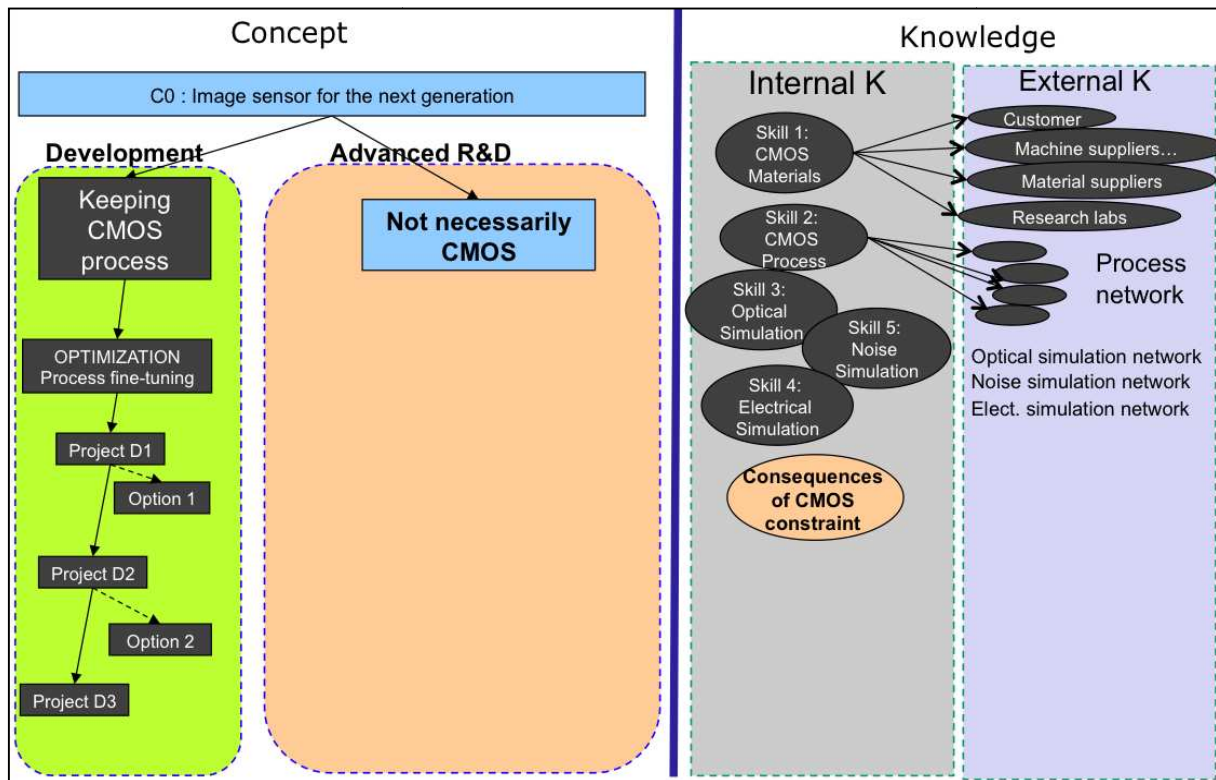


Figure 4 : D and ARD team design trajectory

People in charge of designing the next generation of image sensor in an incremental mode (D-teams) make immediately hypotheses on the knowledge they will use: they keep CMOS technologies, which is the mainstream technology used for transistors, following the Moore's law; they try to adapt and optimize the CMOS technology to an image sensor while keeping changes to CMOS as low as possible. The projects in D-teams have a clear, predictable, feasible target for performance improvement. They are compulsory based on CMOS architectures and technologies. They use competences derived from past generations of imagers (based on electronic on CMOS and optic on CMOS). The projects show a strong AC: they use externally produced knowledge on CMOS, either knowledge coming from CMOS manufacturing, CMOS suppliers, CMOS research labs; they also use externally produced knowledge on optic on CMOS (also suppliers and research labs).

Our observation on D-teams fit with the classical pattern of absorptive capacity: the interviewees explain they use CMOS-related knowledge because they know (prior related knowledge) that this knowledge base is very likely to help them get the image sensor performance. They also know how to use CMOS-related knowledge in the specific context of image sensors. Moreover they know the next generations of CMOS, which follow Moore's law. Hence they know how to make use of external knowledge on image sensors. Prior related knowledge appears as one major determinant of AC in D-teams. The "internal" determinants of AC are also confirmed: the interviewees and the heads of image sensors division consider that the imager business profitability approximately since its creation is linked to the capacity to use CMOS-based knowledge (and related manufacturing capacities). Hence the use of CMOS knowledge actually relies on a *widely shared mental model*. There is no strategic debate on the use of CMOS: the investments are high but considered as justified (unavoidable) in the imager business. The competition is said to follow the same strategic path, as it is known through conferences, through customer roadmaps (mobile phone makers), patents, research programs and PhD dissertations.

Hence CMOS reference appears as a design rule shared widely in the company, accepted as a mental model, coherent with the firm strategy and positioning in the competition. This design rule brings clear advantages for using external knowledge: ST designers are immediately linked to the CMOS community of researchers; this community is very powerful, following the Moore's law, hence revising relentlessly its technologies, and coordinating efforts from varied sources (research labs, universities, competitors, suppliers,...).

By contrast the work of the ARD team led them quite fast to define their research project as the design of an ideal image sensor pixel explicitly "not necessarily based on CMOS". We understand now that it is a strong rule-breaking. By doing this, the ARD team was immediately cut from the "mainstream" community in image sensor business as well as in CMOS. This hence appears as a severe reduction of the capacity to absorb knowledge from external sources. But this is not caused by limited prior related knowledge, as would suggest the classical positive correlation between prior related knowledge and AC: in our case there was some prior related knowledge that has actually led to break the design rules. Interviewees and reports show that in the past the exploration of "crazy" concepts had already shown the constraints of CMOS process for image sensor architectures: for instance a CMOS process obliges to separate "hot" (above 800°C) and "cold" (below 400°C) process steps and to have an image sensor architecture where "hot" process steps are done before the "cold" one. But an "ideal" image sensor pixel could require architectures where "hot" process steps would be done after "cold" process steps. Recent image sensor generations have also underlined the necessity to slightly drift from CMOS. And last but not least simple models have shown a deep contradiction between CMOS trend (shrink) and image sensor performance since the shrink in the whole pixel tends to automatically decrease the surface that is available to catch optical waves.

The proposition "not necessarily with CMOS" clearly cut from some external knowledge sources. One of its immediate advantages is to make designers more sensitive to other trials on image sensor "far from CMOS" and to new models of performance. They become aware of other deviants. For instance, at the beginning of the project, the designers were able to recognize very fast the value of a proposal made by Sony on a "backside" image sensor, i.e. an image sensor where light enters "through" the wafer substrate (on the backside) and not from above, as is the case in the classical architecture for CMOS image sensor.

The capacity to break the design rules was actually based on one classical "determinant" of AC, namely organization: the ARD team was officially in charge of *intentionally* breakthrough innovation, or, in AC-oriented terminology, in charge of rule-breaking. Note that this organization was efficient also because ARD team was clearly aware of the trials of D-teams, they know that D-teams would ensure ST business in the next generation and were hence relieved from the constraints of an immediate application; and knew the difficulties of the use of CMOS-related knowledge in D-teams.

Regarding the other "internal determinants" of AC, namely strategy and mental models, our data suggest a shift of status in the model, from determinant to depending variable. "Rule breaking" led to underline similar moves in the competition (toward CMOS-distant image sensor), to reveal weak signals in the knowledge space (surprising research program at two universities) and product space (surprising prototypes), to show potential benefits of CMOS-distant pixel architectures (perfect optical path –almost no material obstacles between the photodiode and the lighting wave- and perfect optical surface –almost the whole surface would be used for photodetection). Hence ARD teams were actually able to *change strategic representations* of the competition and the set of alternatives. Moreover they contributed to

*rework mental models*: after some years of work, some managers, at top levels, have begun to underline the importance of exploring alternatives to CMOS at least as a good way of managing risk. As a consequence ARD teams were able to resist fixation effects and to withstand the resistance of the other R&D teams of the company involved in the imager business.

This comparison helps to characterize a first feature of AC in situation of radical innovation: a “rule-breaking” capacity (see table 3 below) .

- 1- Whereas EAC tends to follow the DNA of past products or process investment, CAC consists in “unlearning”, breaking from particularly constraining design rules, in the hope to discover promising alternatives. Interestingly enough, this does not consist in a pure “broadening of the range of knowledge” but begins with breaking one particularly limiting design rules or by formulating a very promising rule breaking.
- 2- Whereas EAC choice of keeping design rules is based on the prior related knowledge that “it is very likely to meet the project target inside the design rules”, CAC choice of rule breaking is based on the knowledge of the negative consequences of applying the design rules. This knowledge might have been gained in past experiences or might be the result of a specific, dedicated study (as in the hemp case) which reveals the limitations caused by some design rules. Hence rule-breaking in CAC is also based on prior related knowledge, but prior related knowledge is not used to accept design rules as a constraint on the innovation issue, but *to decide which design rule should be broken*.
- 3- Whereas in EAC, design rules will fit with organization, mental models and strategy, in CAC rule-breaking is an “organized deviance” (based on true organizational support, on a clear mission statement to change the game) that aims at evolving strategic vision and mental models. This organized deviance uses very limited resources and is justified in the organization, strategy and mental models as “risk management”: this is not considered as the main path but as a *complementary path* to make the overall design strategy more complete and robust. “Rule-breaking” does not exclude classical EAC but comes to complete it.
- 4- The consequence of CAC is a clear cut from design rules related knowledge base and hence a clear (initial) reduction of the capacity to use external knowledge coming from this source. This does neither bring immediate access to other knowledge sources: it only make designers more sensitive to signals coming from “out of the box”.
- 5- It strongly support the capacity to fight against “fixation effect”.

Rule-breaking	Analysis of the EAC reference	Analysis in CAC
Phenomenon	(no rule breaking: in EAC, follow the “DNA” of the family of products)	Break a particularly constraining design rules, offering promising alternatives. “Unlearning”
<b>Prior related knowledge</b>	Prior related knowledge gives the design rules to be applied, defines the problem space and gives the probability that a solution will be found in that problem space	Prior related knowledge helps to identify the “most constraining / most “promising” design rule, occasionally through specific investigations
Strategy, mental models and organization	The design rules are coherent with organization, strategy and mental models.	Strategy: desorptive capacity corresponds to a “strategy to change”. Rule breaking is seen as a “careful alternative”, as a “complementary” alternative. Mental models: wish to make mental models evolve Organization: based on “organized deviance”. There is a true organizational support with a mission to change the game (even if it is with limited resources).
Effect on AC	Directly linked to a community that provides relevant knowledge for exploring the problem space.	Cut from classical knowledge providers. Sensitive to “out of the box” signals (so called weak signals)
Effect for innovation	Quick identification of a relevant problem space	Capacity to resist fixation effect: avoid to be fixed by the design rule

*Table 2 : rule-breaking – synthesis*

### 3.2.2. Hook building through generative models

Once basic design rules are broken, classical accesses to external knowledge are not available anymore while links to new knowledge bases are not built. For instance breaking the rule “based on CMOS” free from CMOS constraints and cut from CMOS knowledge base but does not clarify the competences that should be activated. Our data suggest that designers work to counterbalance these consequences of the “rule-breaking” capacity by linking their innovative (rule-breaking) project to external knowledge bases. They build “hooks” to attract external knowledge to their innovative projects. Each hook appear as one specific “problem space”, with more clearly identified “fitness function”, “constraints” and search process. Each single problem space paves the way to the use of a new “epistemic AC”. But to keep the advantage of being free from the fixation effect induced by design rules, designers generate not only one problem space but several problem spaces derived from the rule-breaking project. Hook building is hence a capacity to use existing external knowledge in rule-breaking innovation situations.

In ARD teams, rule-breaking led to generate several alternatives to the “CMOS-based pixel” in a rigorous way. How are they generated? The experts explained that these paths were generated by using what they call “a simple model” on “how to get a (Si)-layer for a photodiode on the top of the image sensor pixel?”. This requires a technical explanation: one of the advantages of using CMOS-based pixel is that the Si-wafer is used as a photoelectric surface (it plays the role of a photodiode that “transforms” photonic signal into electronic signal). This SI-layer is provided “for free” (since the wafer is the basic of the whole component). Not driven by keeping CMOS, designer wonders what is the best way to “create” or “find” a layer and where this layer should be ideally. Ideally the photodiode should be directly to the light and as large as possible to get as many photons (as much light) as possible. Hence the question. With this question they generated three main alternatives: the so-called “backside” consists in keeping the existing pixel and turning it upside down, so that



light enters through the “backside” of the CMOS-based pixel. The “above IC” alternative consists in building a Si-layer on the top of transistors; the 3D alternative consists in building transistors on the top of a photodiode and turning the whole upside down. These propositions are *not solutions* for the ideal pixel, they are just “design paths”, generated from a “simple” model of pixel architecture. Each path defines a problem space with specific fitness functions, constraints and related knowledge domains. For instance the backside pixel path leads to work on “turning upside down” which means actually cutting and bonding wafers and leads to contact research labs specialized in material handling whereas above IC will focus on how to build a “hot” Si-layer on a “fragile” metal layer and leads to research labs and process experts working on “low temperature” Si-layer.

The C-K representation of this phase of the ARD design trajectory is depicted in Figures 5

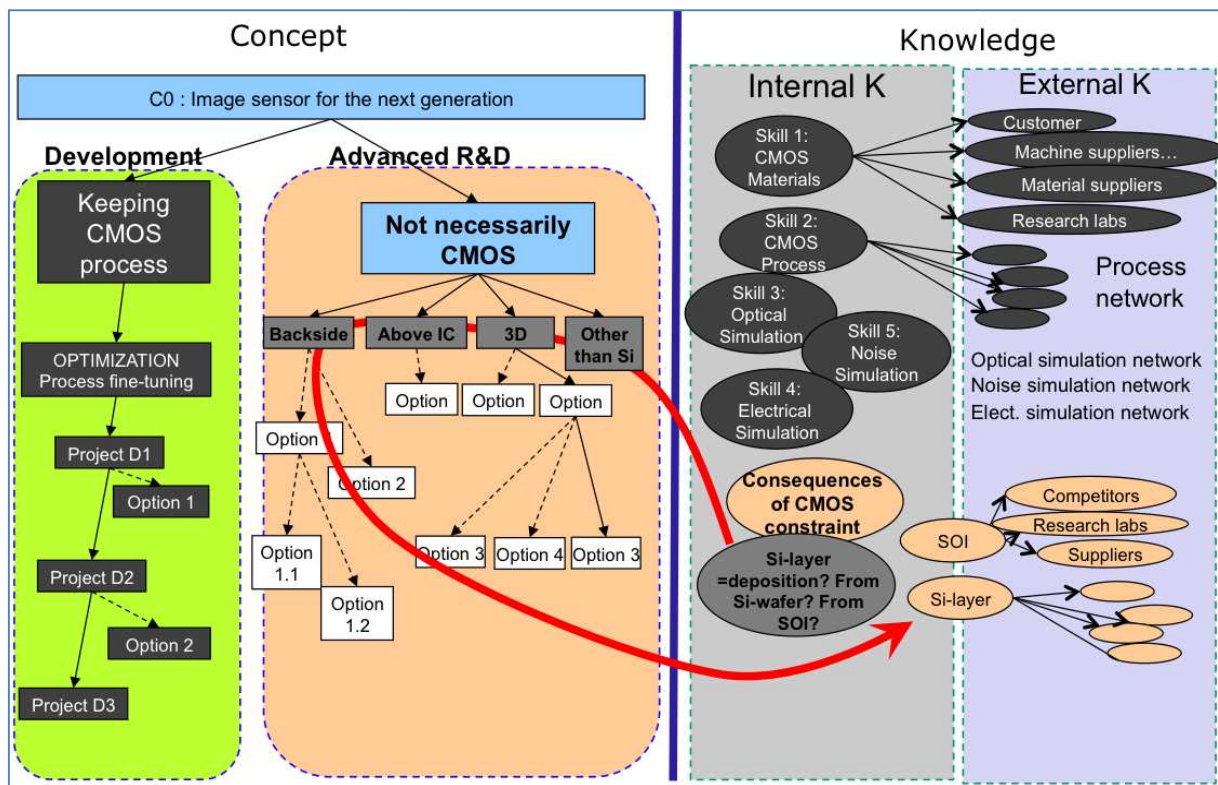


Figure 5 : Hook building through generative models.

The generative model appears in K (“Si-layer = deposition?...”). It leads to create “hooks” in C (“backside”,...) which conversely lead to explore internal and then external K on focused topics (“SOI”,...)

We can clearly differentiate this process from the classical EAC in D-teams: after design rule acceptance, D-teams identify one main problem space and organize a search process in it. Design rules help to frame the problem; they also help to subdivide it into sub problem spaces, in a classical WBS (work breakdown structure). For instance the improvement of 175 generation took the form of a series of rule-based design projects with well-identified targets (grades 1 to 6) AC at each stage favors a wide, efficient exploration of the whole problem space: bringing more detailed expertise, AC helps to counterbalance a kind of “bounded rationality” that prevents designers to really find the optimum in the problem space.

The “hook building” concept is based on **prior related knowledge** and constant learning on the ideal architectures of pixels (other architecture are regularly studied, including architectures based on photosynthesis or other strongly different photo sensor principles). We find also in this case that **strategy, mental models and organization** are determinants of AC (there is a clear demand for technological breakthroughs made to the ARD team); but they are also **determined by** AC-hook building: several strategic alternatives emerge, with various strategic value (short vs. long term, low vs. high investment, opening new user value or not,...) and the variety of alternatives is a protection against fixation effects and path dependency; these alternatives give references to the designers in the fields: behind each strange architecture they can also recognize technical references used in other fields (cutting and assembling is technology already managed by some innovative suppliers, low temperature processes are also investigated in “memory” manufacturing,...). This anchors the alternatives in existing skills, thus facilitating evolutions of the mental models towards “rule-breaking” alternatives. The organization is barely changed during this phase: the “hook building” capacity does not require changes in the skills structure but it requires to make use of existing resources (relationship with research labs, with development,...); but after some months of work new competences finally give birth to new skills recognized in the organizational structure.

It is interesting to underline that hook building didn’t begin with “new skills” and high level expertise but rather on broad, generative models (“how to get a Si-layer on the top of the imager pixel”) that help generate problem spaces and links to new types of competences. Generative models led to the creation of an epistemic AC. But generative models and the episteme have to be clearly distinguished: the first one helps generate “creative” alternatives and is related to the structure of the set of alternatives whereas the second one is related to one specific field of expertise characterizing one problem space. Our data suggest that “hook building” is based on generative models and then gives birth to EAC. Not all problem spaces will give birth to new EAC. But in case of success, some will.

There is a strong effect of “hook building” on the use of external knowledge: the new problem spaces lead the ARD team to pay attention to new knowledge bases (new types of conferences, new types of patents, of thesis, of competitors, on suppliers,...): the team monitors the environment simultaneously much broader and also more efficiently. We find here a “broad range of knowledge domains” but this range is carefully constructed through the generative model. We also find that some of the identified alternatives will unfold as far as giving birth to a new EAC. In the 2005, the backside alternative was still considered as one “rule-breaking” alternative among others, without structured EAC. But the identification of the backside problem space led to identify research labs, suppliers and researchers expert on cutting and bonding. Some months later, when backside was considered as the most likely candidate for the 2008-generation, a D-project was launched and this D-project could use the design rules and the links to external knowledge providers created by the ARD-tream. Our data confirm that this was done in the “EAC” mode identified above: clear design rules, leading to one design space where the effort is devoted to searching the space and find an optimum thanks to external knowledge.

This comparison leads to characterize a second feature of absorptive capacity in situation of radical innovation, a “hook building” capacity (see table 5 below)

- 1- EAC consists in searching, inside a problem space given by design rules, for an optimal solution, by relying on external knowledge to overcome bounded rationality. By contrast, CAC consists in generating several contrasted problem spaces, by using

simple, controllable generative models, in order to link each problem space to existing, external knowledge.

- 2- Whereas EAC is based on prior related knowledge to efficiently use design rules (adapt to specific problem, subdivision in subproblem spaces,...), CAC use prior related knowledge not to solve a problem but as generative models to open multiple problem spaces. These generative models enrich and diffract the vision in several visions.
- 3- Whereas EAC follows strategic vision, mental models and organization, CAC can also influence them. “hook building” consists also in generating new strategic visions, in “plugging the new into the old”, ie in linking the rule-breaking project into existing domain of knowledge, in supporting the emergence and consolidation of new skills that could become the backbone of future organizations (and hence EAC).
- 4- Each hook becomes a basis for EAC emergence, defining aspects of fitness functions (value), of constraints (validation criteria) and search procedures.

Hook building	Analysis of the EAC reference	Analysis in CAC
Phenomenon	frame into a single pb space based on existing DR	rebuild several pb spaces to create links with existing external knowledge (rejuvenate EAC). Based on the use of generative models that: 1-generate several contrasted pb spaces (vs decompose one single pb space) 2-is simple, open and controllable (vs based on complete design rules) 3-help to fit with external, contrasted knowledge (fishing !) (vs help to optimize in one pb space)
<b>Prior related knowledge</b>	use strong episteme, possibly with updates, to optimize search of the pb space (work division, knowledge to be more optimal,...)	Role of prior related knowledge and learning= use some (very generic) knowledge (part of mental model, of strategy,...) to enhance the generation of multiple problem spaces.
Strategy, mental models and organization	stable mental model, coherent with strategy, linked to firm core competences.	<b>Strategy:</b> use strategic knowledge to <b>generate or refine</b> strategic visions <b>Mental models:</b> rebuild several mental models and illustrate their rigor. <b>Plug the new into the old</b> <b>Organization:</b> use existing resources + make possible new orga (based on emerging EAC).
Effect on AC	Directly linked to a community that provides relevant knowledge for exploring the problem space.	Each “hook” becomes a basis for EAC: the value of knowledge is known, the paths for assimilation are identified, useful applications are already prepared.
Effect for innovation	Better optimization inside a problem space	Create multiple alternatives with associated problem spaces and competences to explore these problem spaces. Brings better risk management and higher flexibility

*Table 4 : Hook building – synthesis*

### 3.2.3. Stimulate new knowledge providers / milieu stimulation capacity

The generation of problem spaces works fine as long as a generative model “opens” problem spaces and there is external knowledge relevant for those problem spaces. In certain cases, critical knowledge can be missing: either there is no external knowledge or certain problem spaces are not precise enough. Our “rule-breaking” teams show an interesting strategy to overcome this obstacle: *they produce critical knowledge to stimulate the “external milieu”*

We found several examples of this “milieu stimulation capacity”. We will just detail one. The ARD-team of ST discovered that certain critical pieces of knowledge on the third alternative, 3-D pixel, were not worked by anybody in the milieu. A careful literature review confirmed this lack of knowledge while further investigations on customer value confirmed the potential of that path. The team decided to produce some additional knowledge to stimulate the development of some knowledge in the “3D-pixel” area. But it wasn’t possible to find additional internal resources for this research. Actually it was already difficult to just *ask* for some resources because of the lack of knowledge to only justify it. Hence the team had to *design an experiment without resources*. They contacted manufacturing sites to get “free” samples (old samples that could be reused for specific aging tests); they also visited external research labs to organize free partnerships with ongoing research projects. After some months the ARD-leader was able to show a set of experiments to prove the feasibility and performance of a 3D-pixel (Coudrain et al. 2008a; Coudrain et al. 2008b). The set of experiments show the possibility to transfer a 30nm Si-layer by molecular bonding, to build a transistor at low temperature with valuable characteristics and to define the maximal thermal load for critical components of the pixel.

This experiment required heavy prior related knowledge on two issues: minimize the cost of experiment by reusing as much as possible knowledge already externally produced. ARD team had to know the external labs, their instrumentations and research program to quickly find resources required for their experiment. Moreover they have to know how to convince the research labs: they have to design the convincing experiment that should help them to work further on the topic. In the end the demonstration made by the ARD team finally only relied on pieces of experiments gathered from several external research labs!

This “milieu stimulation capacity” is largely constrained by organization, mental models and strategic vision. At ST they led to severely limit the resources of the ARD-team as soon as the investments were not self-evidently linked to development capacities. But the demonstration clearly aimed at evolving mental models and strategy: it focused on the production of critical knowledge that would legitimate innovative design paths and provoke a renewal of the strategic debates; it targeted demonstrators that would give the most food for thought. As the team leader says “after our trial, people begin to think that it is feasible and that optimization can now begin”. The demonstrator didn’t validate a solution but it was a mobilizing result: “if this works then it becomes worth paying attention to several other alternatives”.

This demonstrator had interesting effect on the capacity to use external knowledge. On the one hand it convinced internally that the “3D-pixel” is credible. It showed that it could *reasonably become a problem space* and not only a crazy concept without any hope of feasibility. It made ST people aware of the interest and even if it didn’t convince them to work internally on the topic, it led them to put the topic (and the external research labs working on it) under surveyance. On the other hand, the demonstrator stimulated the launch of research programs on the topic of 3D-pixel by external partners (supplier like Soitec, public research lab like LETI,...). It stimulated the production of relevant knowledge on this area.

Figure 8 gives the final C-K representation of the ARD team design trajectory, including this “milieu stimulation”

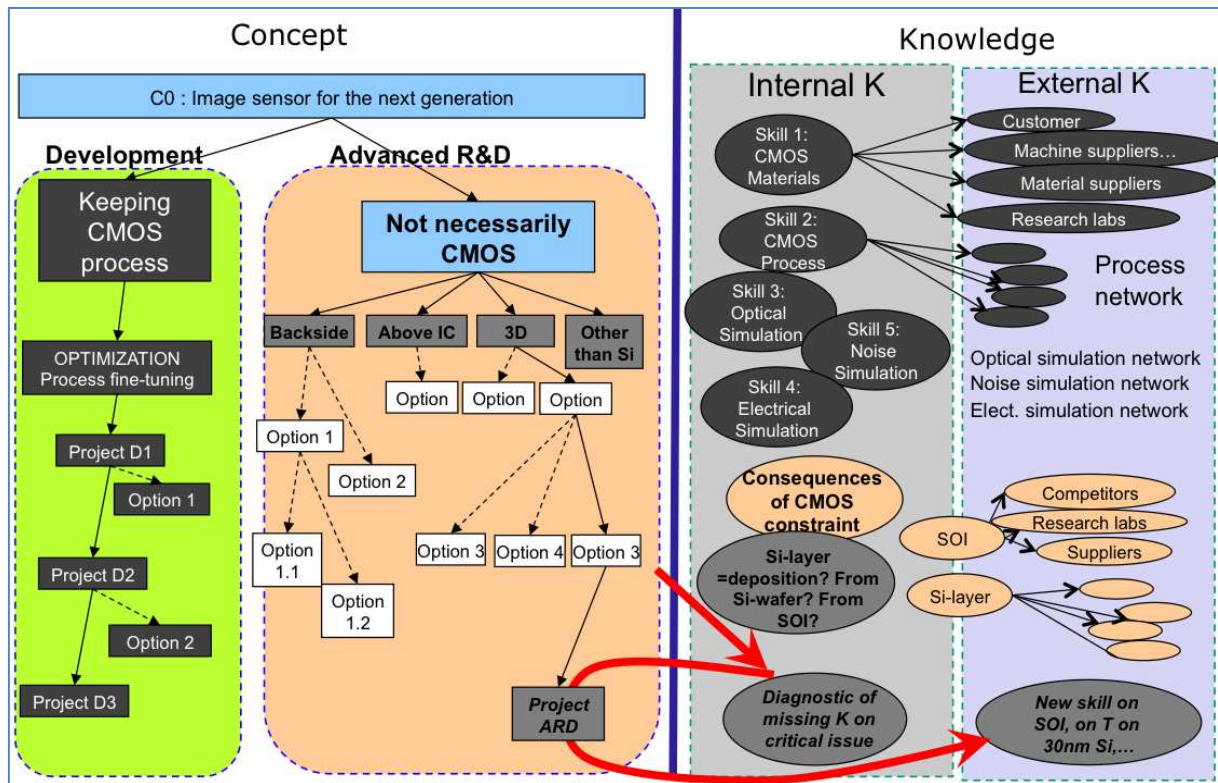


Figure 8: C-K representation including ARD team stimulation for new external knowledge creation

Note that knowledge production is not a characteristic in itself. Even rule-based projects relying heavily on external knowledge produce knowledge. At ST we could observe how D-teams prepared some design of experiments to better focus on the knowledge to be acquired inside the problem space; we also observed how D-teams completed this DoE by experiments made internally. More specific to rule breaking is that knowledge production is oriented towards opening new problem spaces, instead of identifying solutions into an existing one.

This comparison leads to characterize a third feature of absorptive capacity in situation of radical innovation, a “milieu stimulation” capacity (see table 7 below):

- 1- whereas EAC can consist in completing or targeting knowledge provided by external sources, CAC consists in producing knowledge that open/confirm the possibility of a problem space. It tends to discover, legitimate, or strengthen a problem space (and not to search in it).
- 2- Even if this capacity address the issue of missing knowledge, it requires a strong “prior related knowledge”: it is necessary to identify the “hole”, to know the knowledge production capacities (types of instruments, partners,...), to identify the value of the potential results for the whole milieu. There is often a long reasoning before identifying the relevant experiment.
- 3- The “milieu stimulation capacity” tends to avoid premature debates that would be based on “old” strategic visions and mental models, by minimizing the “visibility” of the experiment (minimizing first the budget: the experiments were often led

without budget!). This is all the more so surprising that the same organizations had often supported the two first movements (desorption and hook building). Investigating this issue, it appears that the “minimization” is justified by avoiding a ”decision” effect: debates on the budget or simply budgeting the demonstrator would cause irreversibility. By avoiding a too-early debate on the budget, the rule-breaking team avoid both irreversibility favoring one path or too early “no go” decision. Minimizing early debates, the “milieu stimulation capacity” tries to maximize ex-post debates by providing knowledge for strategic debates and mental models changes.

- 4- The “milieu stimulation capacity” enables new problem spaces first by supporting the emergence of new knowledge providers in the ecosystem; second it makes company’s people receptive to knowledge produced in the area, hence reinforcing their capacity to recognized the value of externally produced knowledge.

Milieu stimulation	Analysis of the EAC reference	Analysis in CAC
Phenomenon	Necessary to produce or make produce knowledge to prepare for the evolution of the episteme	<p>Orient knowledge production towards:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- relevant question, ie questions that open/confirm the possibility of a pb space (for legitimacy, for discovering new pb spaces, for strengthening the pb space (new ext knowledge provider)</li> <li>- Not available, not expected knowledge</li> <li>- Can be addressed at low cost (either internally or by well-identified R labs).</li> </ul> <p>Target critical topics that open strong alternatives. Not a “feasibility test”, not a validation, not a “necessary condition”</p>
<b>Prior related knowledge</b>	Prior related knowledge is useful to orient knowledge production on the evolution of the episteme	Prior related knowledge and learning are very important, even if it addresses missing knowledge! Know the potential value, know the hole (and a hole not solved in the “laissez-faire” trajectory), know the knowledge production capacity (types of instruments, of partners,...) ie long reasoning to design relevant experiment
Strategy, mental models and organization	Coherent with the mental models, organization and strategy.	An “investment” small enough to avoid explanations (!); rather a kind of “slack” (be very light, to avoid strategic discussion) with very high impact (change mental models and strategy regarding certain problem spaces).
Effect on AC	Enhance the capacity to integrate evolutions of the rules (in a deterministic trajectory)	<p>Structure / enable new pb spaces, hence new potential knowledge providers. Change the ecosystem, <b>make external knowledge providers prepare knowledge for that particular problem space</b> (create knowledge providers!)</p> <p>Demonstration of the viability/ the promise of certain pathes. Make <b>(internal) people be able to recognize the value</b> of externally produced knowledge</p>

*Table 5: Milieu stimulation – synthesis*

To summarize our observations: during our study, we identified situations where people are using external knowledge to develop radical innovations; they have broken rules that they consequently couldn’t use as prior related knowledge. Hence our data suggest that people in charge of developing radical innovation while making use of external knowledge develop a specific form of absorptive capacity. In situation of radical innovation, they break so deeply the design rules that they lose (sometimes intentionally) several of the cognitive references that enabled them to use external knowledge. They can’t rely immediately on the same research labs and partners they rely on in non-radical innovation situations. They lose their

“epistemic absorptive capacity”. But they nevertheless use external knowledge for radical innovation, as in AC. In radical innovation, AC takes a novel form: people completely *reshape the interface between the innovative project and external knowledge providers* to establish an efficient link between these external knowledge providers and radical innovation. This capacity has three facets: 1) they first “destruct” the existing relationship between development (rule-based) projects and existing external knowledge. They free themselves from the fixation effect caused by prior related knowledge by breaking the design rules that are most contributing to fixation effect; 2) second, in situations where design rules are (now) broken, they are able to link the radical innovation proposition to existing external knowledge bases (not –or not only- the ones present at the beginning of the project), through generative models that work as “hooks” for organizing the link between the innovative project and existing external knowledge; 3) third, they are able to produce some pieces of new knowledge that open original, critical problem spaces and stimulate knowledge production in the external milieu. In so doing they create a renewed external milieu that support original innovation paths around the initial innovation issue.

To give a representation of this process one can use the metaphor of “absorption” or more precisely of “adsorption” (adsorption is the absorption of molecules from a fluid (gas, liquid) onto a solid substrate): if one considers the innovative project looking for some pieces of knowledge as a solid substrate and the external milieu providing knowledge as a chemical solution containing molecules in which the substrate is plunged, the “absorptive capacity” describes the capacity of this substrate to adsorb relevant molecules onto it. In the EAC mode, the adsorbing sites are prepared to adsorb the relevant molecules and these relevant molecules are already in the solution: there is a pre-adaptation (and the notion of “episteme” precisely refer to this preparation of the substrate and the milieu). In CAC mode, the substrate and the milieu are not pre-adapted. The substrate must first be “cleaned” from irrelevant molecules that have been adsorbed in the past and block the access: this is the rule-breaking phase, where the substrate “desorbs” irrelevant pieces of knowledge to be receptive to new molecules. This is a “desorptive” capacity. Note that this notion of “desorptive capacity” was already used by Lichtenthaler & Lichtenthaler (Lichtenthaler and Lichtenthaler 2009). We follow the same track: the firm gets rid of knowledge; but they insist on the external perspective (the capacity to sold or gives that knowledge) whereas we insist on the internal perspective (the capacity of internal designer to “unlearn”, to break some tacitly admitted rules).

Second the (now) free sites on the substrate have to be prepared and reshaped to be receptive to existing molecules in the milieu. This is the “hook building” capacity. Third the milieu itself might not contained all the relevant molecules and the substrate has to be reactive enough to support the development of new molecules in the milieu and associated active sites. This is the “milieu stimulation” capacity.

#### **PART 4. A MODEL OF AC FOR INNOVATION: COMBINING CAC AND EAC TO GET RULE BREAKING AND RULE BASED INNOVATION.**

In prior sections we sketched the facets of the capacity to use external knowledge in case of radical innovation that emerged from our data. These facets suggest three propositions which meet our three initial research directions:

*P1: teams that show “desorptive capacity” (break constraining design rules) are more likely to be sensitive to weak signals, to avoid fixation effect and hence to explore out-of-the-box innovations areas.*

*P2: teams that show “hook building capacity” (usage and limited extension of existing knowledge bases to define generative models enabling them to identify and frame innovation paths) are more likely to frame breakthrough conceptual visions into actionable problem spaces, to link the unknown into the known, to avoid cognitive crisis and isolation. Hence they are more likely to create epistemic AC in relation with existing knowledge areas*

*P3: teams that show “milieu stimulation capacity” (structure new, original problem spaces and stimulate the creation of knowledge by external resources) are more likely, in the future, to dispose of external knowledge and to be able to recognize them. Hence they are more likely to have epistemic AC on emerging field in the future.*

More broadly our findings offer a holistic view (ie relatively complete and integrated) of how teams in charge of radical innovation make use of external knowledge: the teams break one (or several) design rules, they reestablish links with existing resources and occasionally create original alternatives by completing existing external knowledge base and stimulating the development of new problem spaces; by doing this they support “out-of-the-box” thinking (ie divergence), based on generative models or newly created knowledge, and support, enrich and legitimize the new concept through existing knowledge and new knowledge created by the milieu. The three capacities taken together 1) favor radical innovation and 2) enable the use of external knowledge despite and in favor of this radical innovation. We have here found specific facets of absorptive capacity that support a positive relationship between AC and radical innovation.

These three facets share in common a specific lever on external knowledge: in epistemic AC, external knowledge is triggered by *design rules that link a priori the design issue to a problem space with well-identified fitness function (representation of the value), constraints (representation of the design parameters of the solution) and even search strategies*; in our case, design rules are *intentionally broken and cannot organize the link between the innovation challenge (or what we can call a concept, a vision) and external knowledge*; this relation is structured by *refinements of the conceptual vision*: the “desorptive capacity” adds negations (not with the design rule xxx) to the concept; the “hook building” adds generative models to the concept; the “milieu stimulation” adds newly created, milieu convincing pieces of knowledge to the concept. These refined visions are not design rules; they still are concepts. And we have shown that *they trigger external knowledge. We hence have here an absorptive capacity that is NOT based on design rules but based on concept refinements. That’s why we call it “conceptual AC” (or vision-based, vision driven AC).*

Further our analysis points to the key insight that CAC is based on prior related knowledge; we find here a similar trait with EAC. But in EAC prior related knowledge is actually assimilated to the knowledge of the design rules and its applications. In CAC, prior related knowledge plays a much wider role: in desorptive mode, prior related knowledge is *the knowledge of the consequences, limits and constraints of using design rules*; in hook building mode, *prior related knowledge is used to build generative models to generate multiple problem spaces*, i.e. knowledge is used as a way to enhance, diffract and diverge the initial concept (vision), it is used to create multiple problem spaces not to frame a problem into one predefined problem space; in “milieu stimulation” mode, prior related knowledge is *used to identify the holes in the known*, this is a prior related knowledge of the unknown, this is also prior related knowledge on what could convince external actors to produce knowledge in a specific, often strange, direction. Generally speaking prior related knowledge *is used to build an enriched vision* that is then used to search for external knowledge, this is not used as a constraining bridge between the initial problem and the space of solutions. This brings our



proposition P4: *in CAC, prior related knowledge is a strong determinant of CAC (as in EAC) and prior related knowledge is used as a resource to enrich the concept.*

In our case study we also analyzed the relationship between CAC and so-called “internal” determinants of AC, namely: strategy, organization and mental models in the organization. We confirmed that these determinants played a powerful role on EAC in rule-based projects; we also analyze that they are determinants of CAC. But we have also analyzed that CAC also reacts on strategy, mental models and organizations. In “descriptive” mode, CAC enables the existence of rule-breaking strategic alternatives complementing the mainstream rule-based strategy. This is justified as a risk management. In “hook building”, CAC links the provocative propositions of rule-breaking concepts to existing knowledge and resources, hence *CAC favors new strategic alternative and enriched strategic visions*. It supports the evolution of mental models as well as the emergence of new skills in the organization. In “milieu stimulation” mode, CAC legitimates internally as well as externally the creations of original path. This leads to proposition P5: *in CAC, there is feedback loop from AC to its classical determinants (that hence become depending variables) so that CAC can support changes in strategy, mental models and organization.*

Finally our emerging theoretical model of CAC suggests that CAC and EAC are complementary. In situation of rule-based design, one can easily figure out that CAC logic would be deeply contradictory (breaking design rules whereas the project aims at working with them); but conversely, in situation of rule-breaking, CAC and EAC are not contradictory but complementary: CAC prepares the ground for the emergence of EAC. As we have seen in our case, after first works with CAC, the following generation of products (backside imagers) is actually based on EAC, where EAC design rules are created by CAC. The ARD team using CAC in 2005 and 2006 has prepared the design rules used for designing “backside” in 2009 at ST. Hence we see that CAC actually tends to regenerate design rules and related EAC. This is reinforced by the fact that CAC not only proposed candidate design rules but enable to work on all the aspects of a design rule: CAC enables to shape (at least marginally) strategy, organization and mental model so that they become compatible and adapted with the new design rules.

We can formulate proposition P6: *in rule breaking situations CAC and EAC are complementary, CAC regenerates EAC.*

These propositions can be summarized by the figure below (see figure 4 below)

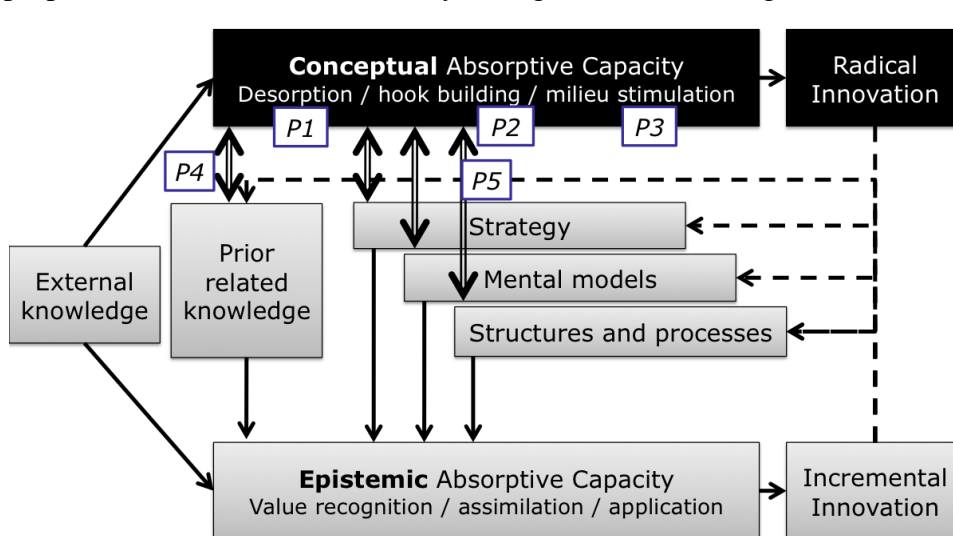


Figure 3: synthesis of the propositions on CAC and EAC

## PART 5. DISCUSSION AND CONCLUSION

A clear limit of our study, however, is the restriction to one case study. The final proposals are therefore valid only in the specific context we analyzed. Multiple cases are generally regarded as being more robust than single case studies because comparisons across cases provide greater validity in the development of insights and fuller consideration of the context dependency of the case project (McDermott and O'Connor 2002; Yin 2003; Eisenhardt and Graebner 2007). Further research will be needed to validate our model against additional cases.

We add to the study of absorptive capacity in situation of radical innovation. Our core theoretical contribution is a holistic framework of a new type of absorptive capacity, called conceptual absorptive capacity, by which designers make use of external knowledge to succeed in radical innovation. CAC is composed of three different ways of making use of external knowledge to succeed in radical innovation : a « desorptive capacity » that helps to avoid the trap of reusing existing design rules, ie avoid fixation effect, a “hook building capacity” that avoids the cognitive crisis and isolation and help to build cognitive references (link the unknown to the known), and a “milieu stimulation capacity” that contributes to avoid to limit exploration to existing knowledge and support the emergence of new competences in the milieu. Collectively, these capacities explicate how designers in radical innovation situations are still using external knowledge while changing design rules, while finding or even creating new cognitive references.

A more fundamental contribution is the reinvigoration of the notion of AC as a rich notion to model the relationship between knowledge and innovation, in particular in case of radical innovation. The relationship between knowledge and innovation is falsely simple and self-evident. Actually it knew two contrasted aspects: on the one, it took decades to clarify the fact that the innovation process cannot be reduced to research (basic research, advanced research,...) in a “techno push” mode. The most seducing myths of basic R&D making innovation, like Du Pont Nylon, have been studied to clarify the (limited) role of research in innovation (Hounshell and Smith 1988). Whereas it is now clear that knowledge is not enough to innovate, the pendulum is going far on the other direction: in an “open innovation” economy, knowledge is always available, creativity becomes the key variable and knowledge could even become a core rigidity, the cause of a fixation effect that impedes creativity.

Between these two extremes, Cohen and Levinthal AC appeared as a fruitful way to explain that there is neither direct deterministic link between knowledge and radical innovation but that knowledge is still indispensable for innovation: it is possible to innovate by sourcing some expertise externally, but it is impossible to use this external knowledge without some “prior related knowledge” (Cohen and Levinthal 1989; Cohen and Levinthal 1990; Cohen and Levinthal 1994). Nevertheless the detailed model has been developed for a specific type of innovation: problem solving, rule-based innovation. For this kind of situation, the authors modeled AC as a “filter”: when the problem is well-defined, this filter helps to search and select relevant pieces of knowledge in the environment. AC helps to find an optimal solution in a predefined problem space. In radical innovation, this model leads to paradoxical conclusions regarding AC as a link between knowledge and innovation: radical innovation is very likely to require a lot of external knowledge and hence requires absorptive capacity; but radical innovation also requires to break design rules (to think out of the box) hence requires to destroy AC.

Our study confirms the model of AC in non-radical innovation situations, i.e. “rule-based” innovation: in this case, we confirm that AC is actually an “epistemic AC”, i.e. is based on

design rules. Moreover our study contributes to overcome the paradox of AC in radical innovation: our study suggests to avoid to limit AC to prior related knowledge; AC is actually both knowledge and creativity; in non radical innovation, only the knowledge side appears; in radical innovation, both sides are present and work together in a complex way; instead of being a filter, AC is a capacity to learn to enrich the concept, to “work” the concept creatively by maintaining a powerful, mobile link to external knowledge with contrasted aspects: avoid to be fixed, insert creative unknown concepts, stimulate knowledge production. By introducing the notion of “conceptual capacity” we underline the “imagery” aspect of AC. The innovation issue is worked in this way, the initial “innovative issue” is gradually refined and ramified, and the knowledge environment is enlarged; the work goes on unless the concept is transformed into a “problem”, ie a problem space is identified with its related design rules.

Introducing CAC helps then to better understand AC as a dynamic capability (Teece and Pisano 1994; Eisenhardt and Martin 2000; Lane, Koka and Pathak 2006; Lichtenthaler 2009): in the EAC model, the feedback loop of AC on determinants like organizations, mental models and strategy occurs through realized innovation and knowledge. This led initially the authors to analyze feedback loop as path dependencies. In radical innovation situations where teams precisely try to create new paths (Geels 2004), CAC appears as a more reactive dynamic and smart way to evolve the determinants: each facet of CAC is a capability to evolve dynamically strategy, mental models and organizations.

## References

- Abernathy, W. J., and Clark, K. B. (1985). “Innovation: Mapping the winds of creative destruction.” *Research Policy*, 14, (1), pp. 3-22.
- Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*, 15th printing, 1999, Harvard University Press, Cambridge, MA. 216 p.,
- Amabile, T. M., Conti, R., Coon, H., Lazenby, J., and Herron, M. (1996). “Assessing the Work Environment for Creativity.” *Academy of Management Journal*, 39, pp. 1154-1184.
- Argote, L. (1999). *Organizational Learning: Creating, Retaining and Transferring Knowledge*, Kluwer Academic, Boston, MA. p.,
- Baldwin, C. Y., and Clark, K. B. (2000). *Design Rules, volume 1: the power of modularity*, The MIT Press, Cambridge, MA, USA. p.,
- Baldwin, C. Y., and Clark, K. B. (2006). “Modularity in the Design of Complex Engineering Systems.” *Complex Engineered Systems: Science Meets Technology*, D. Braha, A. A. Minai, et Y. Bar-Yam, eds., Springer, New York, NYpp. 175-205
- Benner, M. J., and Tushman, M. L. (2002). “Process Management and Technological Innovation: A Longitudinal Study of the Photography and Paint Industry.” *Administrative Science Quarterly*, 47, pp. 676-706.
- Benner, M. J., and Tushman, M. L. (2003). “Exploitation, Exploration, and Process Management: the Productivity Dilemma Revisited.” *Academy of Management Review*, 28, (2), pp. 238-256.
- Birkinshaw, J., Bessant, J., and Delbridge, R. (2007). “Finding, Forming and Performing: creating networks for discontinuous innovation.” *California Management Review*, 49, pp. 67-84.

- Brown, S. L., and Eisenhardt, K. M. (1997). "The Art of Continuous Change : Linking Complexity Theory and Time-paced Evolution in Relentlessly Shifting Organizations." *Administrative Science Quarterly*, 42 (1997), pp. 1-34.
- Brown, V. R., Tumeo, M., Larey, T. S., and Paulus, P. B. (1998). "Modelling cognitive interactions during group brainstorming." *Small group research*, 29, pp. 495-526.
- Burns, T., and Stalker, G. M. (1961). *The Management of Innovation*, Social Science Paperback, Tavistock Publications Limited, London. 269 p.,
- Cohen, W. M., and Levinthal, D. A. (1989). "Innovation and Learning: The Two Faces of R & D." *the Economic Journal*, 99, (397), pp. 569-596.
- Cohen, W. M., and Levinthal, D. A. (1990). "Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation." *Administrative Science Quarterly*, 35 (1990), pp. 128-152.
- Cohen, W. M., and Levinthal, D. A. (1994). "Fortune Favors the Prepared Firm." *Management Science*, 40, (2), pp. 227-251.
- Coudrain, P., Batude, P., Gagnard, X., Leyris, C., Ricq, S., Vinet, M., Pouydebasque, A., Moussy, N., Cazaux, Y., Giffard, B., Magnan, P., and Ancey, P. (2008a). "Setting up 3D Sequential Integration for Back-Illuminated CMOS Image Sens with Highly Miniaturized Pixels with Low Temperature Fully Depleted SOI Transistors." International Electron Devices Meeting, 271-274.
- Coudrain, P., Magnan, P., Batude, P., Gagnard, X., Leyris, C., Vinet, M., Castex, A., Lagahe-Blanchard, C., Pouydebasque, A., Cazaux, Y., Giffard, B., and Ancey, P. (2008b). "Investigation of a Sequential Three-Dimensional Process for Back-Illuminated CMOS Image Sensors with Miniaturized Pixels." *Transactions on Electron Device*, 56, (11), pp.
- Diehl, M., and Stroebe, W. (1987). "Productivity Loss in Brainstorming Groups: Towards the solution of a riddle." *Journal of Personality and Social Psychology*, 53, pp. 497-509.
- Dougherty, D. (1990). "Understanding new markets for new products." *Strategic Management Journal*, 11, pp. 59-78.
- Dunne, D., and Martin, R. (2006). "Design Thinking and How It Will Change Management Education: An Interview and Discussion." *Academy of Management Learning and Education*, 5, (4), pp. 512-523.
- Eisenhardt, K. M. (1989a). "Building Theories from Case Study Research." *Academy of Management Review*, 14, (4), pp. 532-550.
- Eisenhardt, K. M. (1989b). "Making Fast Strategic Decisions in High-Velocity Environments." *Academy of Management Journal*, 32, (3), pp. 543-576.
- Eisenhardt, K. M., and Graebner, M. E. (2007). "Theory building from cases: opportunities and challenges." *Academy of Management Journal*, 50, (1), pp. 25-32.
- Eisenhardt, K. M., and Martin, J. A. (2000). "Dynamic Capabilities: What are They?" *Strategic Management Journal*, 21, (10/11), pp. 1105-1121.
- Elmqvist, M., and Le Masson, P. (2009). "The value of a 'failed' R&D project: an emerging evaluation framework for building innovative capabilities." *R&D Management*, 39, (2), pp. 136-152.
- Elmqvist, M., and Segrestin, B. (2007). "Towards a new logic for Front End Management: from drug discovery to drug design in pharmaceutical R&D." *Journal of Creativity and Innovation Management*, 16, (2), pp. 106-120.

- Finke, R. A. (1990). *Creative Imagery: Discoveries and inventions in visualization*, Erlbaum, Hillsdale, NJ. p.,
- Finke, R. A., Ward, T. B., and Smith, S. M. (1992). *Creative Cognition*, MIT Press, Boston, MA. p.,
- Foucault, M. (1966). *Les mots et les choses, une archéologie des sciences humaines*, Bibliothèque des sciences humaines, Gallimard, Paris. 400 p.,
- Garcia, R., and Calantone, R. (2002). "A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review." *Journal of product innovation management*, 19, pp. 110-132.
- Geels, F. W. (2004). "From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory." *Research Policy*, 33, (6/7), pp. 897-920.
- Gillier, T., Piat, G., Roussel, B., and Truchot, P. (2010). "Managing innovation fields in a cross-industry exploratory partnership with C-K design theory." *Journal of product innovation management*, Accepted - To be published, pp.
- Golden, B. R. (1992). "The past is the past - Or is it? The use of retrospective accounts as indicators of past strategy." *Academy of Management Journal*, 35, pp. 848-860.
- Grant, R. M. (1996). "Prospering in Dynamically-competitive Environments: Organizational Capability as Knowledge Integration." *Organization Science*, 7, (4), pp. 375-387.
- Gupta, A. K., Smith, K. G., and Shalley, C. E. (2006). "The Interplay between Exploration and Exploitation." *Academy of Management Journal*, 49, (4), pp. 693-706.
- Hatchuel, A., and Weil, B. (2003) "A new approach of innovative design: an introduction to C-K theory." *ICED'03, August 2003*, Stockholm, Sweden, 14.
- Hatchuel, A., and Weil, B. (2007) "Design as Forcing: deepening the foundations of C-K theory." *International Conference on Engineering Design*, Paris, 12.
- Hatchuel, A., and Weil, B. (2009). "C-K design theory: an advanced formulation." *Research in Engineering Design*, 19, pp. 181-192.
- Henderson, R., and Cockburn, I. (1994). "Measuring Competence? Exploring Firm Effects in Pharmaceutical Research." *Strategic Management Journal*, 15, pp. 63-84.
- Henderson, R. M., and Clark, K. B. (1990). "Architectural Innovation : The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms." *Administrative Science Quarterly*, 35 (1990), pp. 9-30.
- Hounshell, D. A., and Smith, J. K. (1988). *Science and Corporate Strategy: Du Pont R&D, 1902-1980*, Studies in Economic History and Policy, the United States in the Twentieth Century, L. Galambos et R. Gallman, Cambridge University Press, Cambridge. 756 p.,
- ITRS. (2007). "International Technology Roadmap for Semiconductors edition 2007." pp.
- Jansen, J. J. P., Van Den Bosch, F. A. J., and Volberda, H. W. (2005). "Managing potential and realized absorptive capacity: how do organizational antecedents matter? ." *Academy of Management Journal*, 48, (6), pp. 999-1015.
- Jansen, J. J. P., Van Den Bosch, F. A. J., and Volberda, H. W. (2006). "Exploratory Innovation, Exploitative Innovation, and Performance: Effects of Organizational Antecedents and Environmental Moderators." *Management Science*, 52, (11), pp. 1661-1674.

- Jansson, D. G., and Smith, S. M. (1991). "Design Fixation." *Design Studies*, 12, (1), pp. 3-11.
- Katila, R., and Ahuja, G. (2002). "Something old, something new: a longitudinal study of search behavior and new product introduction." *Academy of Management Journal*, 45, (6), pp. 1183-1194.
- Kazakçi, A. O., and Tsoukias, A. (2005). "Extending the C-K design theory: a theoretical background for personal design assistants." *Journal of Engineering Design*, 16, (4), pp. 399-411.
- Kogut, B., and Zander, U. (1992). "Knowledge of the firm, combinative capabilities and the replication of technology." *Organization Science*, 3, (3), pp. 383-397.
- Lane, P. J., Koka, B. R., and Pathak, S. (2006). "The reification of absorptive capacity: a critical review and rejuvenation of the construct." *Academy of Management Review*, 31, (4), pp. 833-863.
- Laursen, K., and Salter, A. (2004). "Searching high and low: what types of firms use universities as a source of innovation? ." *Research Policy*, 33, pp. 1201-1215.
- Leonard-Barton, D. (1992). "Core Capabilities and Core Rigidities: A Paradox in Managing New Product Development." *Strategic Management Journal*, 13, pp. 111-125.
- Levinthal, D. A., and March, J. G. (1993). "The myopia of learning." *Strategic Management Journal*, 14, (S2), pp. 95-112.
- Lichtenthaler, U. (2009). "Absorptive Capacity, Environmental Turbulence, and the complementarity of Organizational Learning Processes." *Academy of Management Journal*, 52, (4), pp. 822-846.
- Lichtenthaler, U., and Lichtenthaler, E. (2009). "A Capability-based Framework for Open Innovation: Complementing absorptive capacity." *Journal of Management Studies*, (forthcoming), pp.
- McDermott, C. M., and O'Connor, G. C. (2002). "Managing radical innovation: an overview of emergent strategy issues." *Journal of product innovation management*, 19, pp. 424-438.
- McGrath, R. G. (2001). "Exploratory Learning, innovative capacity and managerial oversight." *Academy of Management Journal*, 44, (1), pp. 118-131.
- Miles, M. B., and Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*, 2nd edition, Sage, Thousand Oaks, CA. p.,
- Miller, C. C., Cardinal, L. B., and Glick, W. H. (1997). "Retrospective reports in organizational research: A reexamination of recent evidence." *Academy of Management Journal*, 40, pp. 189-204.
- Mullen, B., Johnson, C., and Salas, E. (1991). "Productivity loss in brainstorming groups: a meta-analytic integration." *Basic and Applied Social Psychology*, 12, pp. 3-23.
- O'Connor, G. C. (1998). "Market Learning and Radical Innovation: A Cross Case Comparison of Eight Radical Innovation projects." *Journal of product innovation management*, 15, pp. 151-166.
- O'Connor, G. C. (2008). "Major Innovation as a Dynamic Capability: A System Approach." *Journal of product innovation management*, 25, pp. 313-330.
- O'Connor, G. C., and DeMartino, R. (2006). "Organizing for Radical Innovation: An Exploratory Study of the Structural Aspect of RI Management Systems in Large Established Firms." *Journal of product innovation management*, 23, pp. 475-497.

- Paulus, P. B., Brown, V. R., and Ortega, A. H. (1999). "Group creativity." Social creativity in organization, R. E. Purser et A. Montuori, eds., Hampton, Cresskill, NJpp.
- Paulus, P. B., and Dzindolet, M. T. (1993). "Social influence processes in group brainstorming." *Journal of Personality and Social Psychology*, 64, pp. 575-586.
- Paulus, P. B., Larey, T. S., and Dzindolet, M. T. (2000). "Creativity in groups and teams." Groups at work: Advances in Theory and Research, M. Turner, ed., Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJpp. 319-338
- Rittel, H. W. J. (1972). "On the Planning Crisis: Systems Analysis of the 'First and Second Generations'." *Bedriftsokonomien*, 8, pp. 390-396.
- Rittel, H. W. J., and Webber, M. M. (1972). "Dilemmas in a General Theory of Planning." University of California at Berkely, Berkeley, 22.
- Rothaermel, F. T., and Thursby, M. (2005). "University-incubator firm knowledge flows: assessing their impact on incubator firm performance. ." *Research Policy*, 34, pp. 305-320.
- Schön, D. A. (1990). "The Design Process." Varieties of Thinking. Essays from Harvard's Philosophy of Education Research Center, V. A. Howard, ed., Routledge, New York, NYpp. 110-141
- Schön, D. S. (1983). *The Reflective Practitioner, How Professionals Think in Action*, J.-C. H. e. D. Gagnon, translator, Basic Books Inc., USA. p.,
- Schot, J., and Geels, F. W. (2007). "Niches in evolutionary theories of technical change. A critical survey of the literature." *Journal of Evolutionary Economics*, 17, pp. 605-622.
- Schwenk, C. R. (1985). "The use of participant recollection in the modelling of organizational decision process." *Academy of Management Review*, pp.
- Siggelkow. (2007). "Persuasion with case studies." *Academy of Management Journal*, 50, (1), pp. 20-24.
- Simon, H. A. (1969). *The Sciences of the Artificial*, M.I.T. Press, Cambridge, MA, USA. 229 p.,
- Simon, H. A. (1985). "What we know about the creative process." *Frontiers in Creative and Innovative Management*, R. L. Kuhn, ed., Ballinger, Cambridge, MA pp. 3-20
- Simon, H. A., Newell, A., and Shaw, J. C. (1979). "The Processes of Creative Thinking." *Models of Thought*, H. A. Simon, ed., Yale University Press, New Haven pp. 144-174 reprint from original publication in 1962.
- Smith, S. M., Ward, T. B., and Schumacher, J. S. (1993). "Constraining effects of examples in a creative generation task." *Memory and Cognition*, 21, pp. 837-845.
- Sutton, R. I., and Hargadon, A. (1996). "Brainstorming Groups in Context: Effectiveness in a Product Design Firm." *Administrative Science Quarterly*, 41, (4), pp. 685-718.
- Szulanski, G. (1996). "Exploring Internal Stickiness: Impediments to the Transfer of Best Practice Within the Firm." *Strategic Management Journal*, 17, pp. 27-43.
- Teece, D. J., and Pisano, G. P. (1994). "The Dynamic Capabilities of Firms : an Introduction." *Industrial and Corporate Change*, 3, (3), pp. 537-556.
- Thomke, S. H. (1998). "Managing Experimentation in the Design of New Products." *Management Science*, 44, (6), pp. 743-762.

- Thomke, S. H., and Fujimoto, T. (2000). "The Effect of "Front Loading" Problem-Solving on Product Development Performance." *Journal of Product Innovation Management*, 17, (2, March 2000), pp. 128-142.
- Tilton, J. H. (1971). *International Diffusion of Technology: The Case of Semiconductors*, Brookings Institution, Washington D. C. p.,
- Todorova, G., and Durisin, B. (2007). "Absorptive capacity: valuing a reconceptualization." *Academy of Management Review*, 32, (3), pp. 774-786.
- Tushman, M. L., and Anderson, A. D. (1986). "Technological Discontinuities and Organizational Environments." *Administrative Science Quarterly*, 31, pp. pp. 439-465.
- Van de Ven, A., Polley, D. E., Garud, R., and Venkataraman, S. (1999). *The Innovation Journey*, Oxford University Press, New-York, Oxford. 422 p. p., Van Den Bosch, F. A. J., Vol
- Berda, H. W., and De Boer, M. (1999). "Coevolution of Firm Absorptive Capacity and Knowledge Environment: Organizational Forms and Combinative Capabilities." *Organization Science*, 10, (5), pp. 551-568.
- Ward, T. B. (1994). "Structured Imagination: The Role of Category Structure in Exemplar Generation." *Cognitive Psychology*, 27, pp. 1-40.
- Ward, T. B., Smith, S. M., and Finke, R. A. (1999). "Creative Cognition." *Handbook of Creativity*, R. J. Sternberg, ed., Cambridge University Press, Cambridgepp. 189-212
- Wheelwright, S. C., and Clark, K. B. (1992). *Revolutionizing Product Development, Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality*, The Free Press, Macmillan , Inc., New York. 364 p. p.,
- Yin, R. K. (2003). *Case Study Research: Design and Methods.*, 3rd, Applied Social Research Methods Series, Volume 5, L. Bickman et D. J. Rog, Sage, Thousand Oaks. 181 p.,





---

## ***Partie 2 - Chapitre 2***

---

*La Recherche Avancée et le renouvellement de plateforme dans des environnements industriels HTVE  
(High Technological Velocity Environments)*

---

« Si les faits ne correspondent pas à la théorie, changez les faits »  
(Albert Einstein)

---



## ***LA RECHERCHE AVANCEE ET LE RENOUVELLEMENT DE PLATE-FORME DANS DES ENVIRONNEMENTS INDUSTRIELS HTVE - (HIGH TECHNOLOGICAL VELOCITY ENVIRONMENTS)***

Dans le précédent chapitre, nous avons commencé à dresser une image de la recherche avancée autour d'une première question qui est celle de son rapport aux réseaux de connaissances. Ce premier travail expérimental nous a amené à revisiter son rôle par rapport aux représentations classiques des transferts de connaissances. En effet, nous avons montré en quoi la recherche avancée qui a souvent été considérée comme une façon d'améliorer la capacité d'absorption de l'entreprise nous invite à distinguer deux formes de capacité d'absorption : la première épistémique, la seconde conceptuelle. Les activités de recherche avancée ayant pour but d'augmenter le second type.

Dans ce second chapitre, nous reviendrons sur un des attributs principal de cette recherche avancée : la préparation des futures générations de produits. Les différentes générations de produit s'appuient sur des plateformes industrielles pour tirer parti d'effet de modularité et commonalité. Nous regarderons donc de plus près les logiques de renouvellement de ces plateformes pour identifier la contribution de cette recherche avancée. En considérant qu'une plateforme s'appuie sur des règles de conception (ou 'Design rules') et des paramètres spécifiques à chacun des produits, nous lui associons deux critères de performances : les coûts de réalisation de la plateforme, sa flexibilité et adaptabilité pour les générations futures. Nous comparons ensuite les différentes stratégies de renouvellement de plates-formes selon ces deux critères.

Deux stratégies de renouvellement de plateformes sont identifiées dans la littérature, la première étant l'adaptation (S1), la seconde l'anticipation (S2). Grâce à une modélisation économique nous comparons ces deux stratégies selon les vitesses de renouvellement technologiques du milieu industriel (nous identifions donc des domaines où S1 prévaut sur S2). Enfin, nous montrons que dans le cas de HTVE (*High Technological Velocity Environment*) où la vitesse de renouvellement est particulièrement rapide, la question de l'obsolescence des règles de conception est critique. Nous définissons comme pré-positionnement une stratégie (S3) de renouvellement de plateforme basée sur une production de règles de conception valables sur plusieurs générations.

Nous illustrons sur un cas d'étude l'utilisation de ce modèle pour retracer des parcours de conception. Ce modèle nous permet de mettre en valeur un attribut essentiel de cette recherche avancée : l'exploration de concepts très génériques à très faible investissement pour cartographier les problématiques d'un espace de conception.

Ce chapitre est issu d'une publication présentée lors de la conférence IPDM – *International Product Development Management* 2010 <sup>44</sup>

---

<sup>44</sup> Felk, Y., P. Le Masson, B. Weil and P. Cogez (2010). Advanced R&D for pre-positioning strategies: the economics of platform-shift in high technological environments. 17th International Product Development Management Conference, IPDMC, Murcia, Spain.



**ADVANCED R&D FOR PRE-POSITIONING STRATEGIES:  
THE ECONOMICS OF PLATFORM-SHIFT IN HIGH TECHNOLOGICAL  
VELOCITY ENVIRONMENTS**

Yacine **FELK**<sup>1,2</sup>, Pascal **LE MASSON**<sup>1</sup>, Benoit **WEIL**<sup>1</sup>, Patrick **COGEZ**<sup>2</sup>

<sup>(1)</sup> MINES Paristech, CGS- center for management science.

<sup>(2)</sup> Technology R&D, STMicroelectronics, CROLLES, France.

patrick.cogez@st.com, lemasson@ensmp.fr, bweil@ensmp.fr, yacine.felk@ensmp.fr

**Keywords:** Innovation, Platform, R&D, New Product Development, Semiconductor.

**Abstract**

This paper addresses the design of platform, and more precisely the economics of platform shift in industries with high technological velocity. A platform consists in fixing some design dimensions (such as basic components, modules or processes) to get better performance on some other dimensions (flexibility of alternative development, enhanced variety, lower costs). Platform design consists in using a stock of design rules to find the right balance between fixed parameters and to be defined parameters for a certain time period. In high technological velocity (HTV) environment this time period can become very short so that platform renewal becomes critical. Moreover in this HTV environment, the stock of design rules becomes obsolete so that platform renewal can take several forms: this can range from “adaptation” (development activity makes the optimal use of existing stock) to “anticipation” (research activity produces new design rules to prepare the development of the next platform).

In this paper we propose an economic model of platform renewal to compare these strategies, depending on the technological velocity. We show where anticipation and adaptation are relevant and what is the optimal research level compared to development. Moreover we show that an alternate strategy, called “prepositioning”, based on Advanced R&D (ARD) and consisting in renewing the stock of design rules for several generations, would be interesting in case of HTV.

We then illustrate its insights through a case study in a typical HTV industry, semiconductor industry. This enables us to propose an explanation of complex platform renewal strategies. The article closes with managerial implications and directions for further research in platform renewal.

## **Introduction**

Throughout the last twenty years, the concept of product family based on product platforms has been introduced for solving problems linked to fast product development, short life-cycles and customized product requirements. Many companies adopted a platform approach to increase standard parts, reduce costs and shorten product design lead-times. A common theme that cuts across the literature on platform is what kind of strategies make organizations more or less likely to succeed in new platform introduction. In this paper we focus on the design of platform, and more precisely the economics of platform shift, in industries with high technological velocity.

Nowadays, in many industries such in semiconductors we observe a very fast platform renewal based on unusual organizational logics. For a same product family, some platform-core are based on development activities whereas some others are based on both research and development activities. These kinds of platform renewal logics suggest several questions about both Research and Development attributes (are these activities based on anticipation, reaction or other strategies) and indicators of its efficiency. Thanks to a simplified analytical model we describe the two main platform renewal strategies identified through the literature review and expose what mixed strategies could be. We then illustrate its use through a case-study in the semi-conductor industry. This paper reports the preliminary results of an ongoing study in an IDM (Integrated Device Manufacturer) firm in a High-Technological Environment (the semiconductor industry), where overall aim is understanding what are high velocity environments impacts on platform renewal strategies, modeling the environment velocity in the one hand and the firm's capabilities and innovative decisions technology investments undertaken on the other hand. For that purpose, we carried out an in-depth case study of radical change in the semiconductor industry in order to analyze research project contribution to platform development. The case study develops the idea that the dynamics of platform evolution rely on design rule renewal. This analysis led us to three results; the first one is that we pointed out the existence of specific research activities that embody both market as well as technical principal in order to define planed and repeated breakthroughs. The second one is that in high velocity markets, research activities enable pre-positioning strategies (based on robustness and value enhancement) in order to sustain flexible platform development. Finally, we show that research activities enable smooth transitions from an old platform to a new one. The objective of this paper is to give some insights on how to manage platform shift or renewal and to focus on new design rules introduction process.

Before discussing this, we will review the existing literature on platform design and economical evaluation and show how PF renewal issue has been stressed as a major challenge by many authors and practitioners. We will then present the research setting and our methodology before detailing the different aspects of our model settled to describe the trade-offs between different platform renewal strategies. We then describe our model interpretation through a case-study in high-technological velocity industry. Before concluding, we deepen the discussion of the case-study and relates it to recent development in platform theory.

## **Research background and hypothesis: the economics of platform shift in situation of high velocity technological change.**

*A gap in the literature: Platform renewal in High Technological Velocity Environments.*

Literature is full of historical success stories such as Sony's walkman (Sanderson and Uzumeri 1994) or Black & Decker's power tools (Meyer and Utterback 1993) product family analysis, which show the relevance of platform strategies for new product development, manufacturing and distribution. Platform is a design strategy that consists in fixing some design dimensions (basic components, processes,...) to get better performance on some other ones (flexibility of alternative development, enhanced variety, lower costs,...) (Krishnan and Gupta 2001) (Uzumeri and Sanderson 1994). Several definitions have been used to qualify a product platform such as a "set of common components, modules and parts from which a stream of derivative products can be efficiently created and launched" (Meyer, Tertzakian et al. 1997) or "the collection of assets that are shared by a set of products" (Robertson and Ulrich 1998) (where assets may include components, processes, knowledge and people) and enables companies to re-use core technologies and other common building blocks for a set of products. Product platforms are often developed along a lead product, a practice that facilitates a development that fulfills concrete product requirements, but requires careful product architecture management to guarantee that the developed platform will be suitable as a product platform. Therefore, platform design consists in designing in advance this balance between fixed and "to be defined" parameters (Martin and Ishii 2002) (Jiao, Timothy et al. 2007) so as to manage the balance between commonality and differentiation needs within a product family. The main idea across the literature is that implementing a platform strategy helps exploiting commonalities between several products and thus is considered as a good mean to better leverage investments (Sawhney 1998) (Ulrich 1995) for new product development (Meyer and Lopez 1995).

As, the concept of platform has been widely accepted as an option to create flexibility and enhance product design efficiency, the literature focused mainly on ex-post case-studies highlighting the relevance of this strategy from a wide variety of industries. Nevertheless, only few works have explored the issue of platform renewal (Sundgren 1999), which has been identified as an open-question for both academics and practitioners. Different empirical works (Baldwin, 1997) (Baldwin, 2002) and research programs (Halman, Hofer et al. 2003) have stressed the issue of platform renewal and design Halman et al. exhibit a striking case, ASML, where platform renewal process could lead "to restrictions on the use of new technologies in a later stage,..., to rigidity in design when a lot of choices have to be made in a very early stage". They consider that platform renewal is a "white spot" of research on platform. The cases analyzed by the authors (computer industry for Baldwin, semiconductor for ASML case of Halman et al.), are all cases of so-called high velocity environment (Bourgeois and Eisenhardt 1987);( Bourgeois and Eisenhardt 1988).

But not all "high-velocity" environments are critical for platform renewal, on the contrary, literature has also shown that platform appears to be a smart solution in high velocity markets where applications are rapidly obsolete (Eisenhardt 1989). In this kind of situation, modular platforms have been proposed as a solution for designing the balance between fixed and to-be defined parameters for platform so as to increase flexibility and option value. In these environments, platform product strategies are particularly relevant because of the modular architecture that enables to keep a stable platform core and flexible



modules. This kind of dynamics has been illustrated in the Software industry (Meyer and Lopez 1995). One of the developed work linked to platform product development is the central concept of “Design Rule” (Baldwin and Clark 1997). A “Design Rule” can be considered as a design decision that decouples other design decision by imposing certain constraints (an interface) on them. More precisely, these are powerful routines defining boundaries that renders complexity manageable by making it possible to run parallel experiments that pursue alternative explorative design paths at the level of modules.

Hence high velocity environment becomes a critical issue for platform renewal when the pace and duration are so high that the *design rules* themselves have to be changed. This is what we call a high technological velocity environment: this is specific type of high velocity environment where the “technology” can not be kept stable to address market needs. Paradoxically in some HTV environments like in microelectronic the market needs might be almost known (faster speed,...) but the technology to address these needs are not and even it is known that breakthrough will be required. In this kind of situation, platforms have to be built (to address complex and varied market needs) but platform have also to evolve rapidly to integrate new technologies.

Hence it appears that platform renewal in HTV environment is a gap in the literature. This raises several questions: how are platforms renewed in high technological velocity environment? What are the relevant strategies and economical indicators for platform renewal?

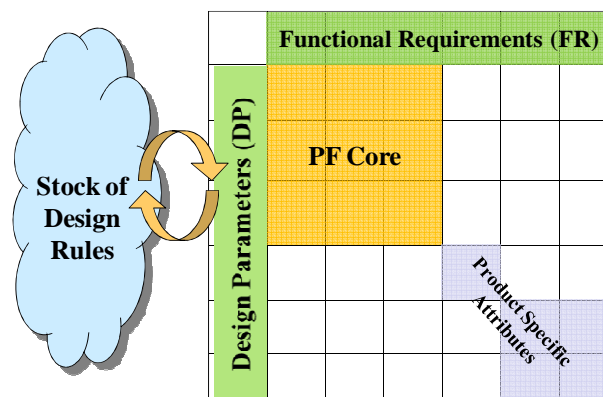


Figure 1: Where do platform knowledge com from: the stock of design rules.

*Platform renewal strategies.*

Usually fixing platform parameters consists in choosing the best technologies for a more or less uncertain range of products. The components of these technologies (defined as Design Parameters (in Figure 1) come from a stock of design rules which enable to define platform boundaries for each generation. Actually the literature proposes a first platform renewal strategy based on two types of classical approaches, top-down (or functional approach) (Farrel and Simpson 2003) (Simpson, Maier et al. 2001) and bottom up (or consolidation) (Farrel and Simpson 2003).

Top-down is defined as an a-priori approach where “a company strategically manages and develops a family of products based on a product platform and its derivatives”, ie a company partially creates a renewal of the stock of design rules (through research activity, be it technological research or even market research) and then uses a stock of design rules based on available technologies and available market knowledge to design a new platform. Bottom-

up approach is when “company redesigns or consolidates a group of distinct products to standardize components to improve economies of scale”. Actually this also means that the company first develops products that help to create a stock of design rules to then develop the platform. Actually top-down and bottom-up processes require a strong *anticipation* capacity, in order to first develop technology alternatives before development (Meyer and Dalal 2002). In these processes designers are highly knowledgeable on future products and available technologies in order to optimize investments, and some methods such as “conjoint analysis” can help them to define platform-core (Moore, Louviere et al. 1999). In the meantime these approaches are based on strong assumptions about product and functionalities description and the valuable technologies used for platform development. In a nutshell, the literature identifies a first kind of platform renewal strategy (S2) based on anticipation, where designer first prepare the stock of design rules and then, using pre-defined design rules, develop a new platform.

Whereas “anticipation” appears as a “long jump”, a second platform renewal process is based on a kind of local search process (trial/error by limited modifications) guided by performance indicators. In this approach, platform evolution is based on incremental modifications. The design process is a pure development process, using existing competences: there is stock rules (platform designers competences) to design the platform. There is no “research activity” to evolve the stock of design rules in advance.

Different indicators can be used in order to measure platform’s freshness and competitiveness. Meyer and Lehnerd (Meyer and Lehnerd 1997); (Meyer, Tertzakian et al. 1997) define five measures aiming to provide information about when a platform begins to lose its economical advantages and should be updated or replaced. Two of them appear to be relevant for platform performance evaluation, Platform Efficiency measures whether a platform is providing a productive base for derivative products, actually it compares the development costs of derivative products to platform development costs (a rise in platform efficiency rate may indicate that the platform is aging or it has to be renewed). The aim of Platform Effectiveness is to measure the commercial effectiveness of product platform by comparing resources used to design products (engineering costs, manufacturing costs, market development costs) to revenues derived from them over the long term. But even if these indicators give some insights about platform obsolescence, it does not give indicators on the obsolescence of the stock of design rules itself, which is nevertheless one of the critical factors for platform renewal costs.

These elements enable us to define a second kind of platform renewal strategy (S1) based on **adaptation**, where designers use the existing stock of design rules to redefine an optimal platform.

Regarding performance, it is interesting to note that S1 and S2 are both of them aiming at minimizing design costs and enabling reactive and flexible design strategies. This enable us defining two performance dimensions for platform-renewal strategies, the first one estimating for a generation platform-cost renewal (**Criteria 1: PF renewal costs optimization**), the second one aiming at measuring the capacity of a firm to develop an original, unique platform thanks to a specific stock of design rules. With a a better stock of design rules , a firm has a technical competitive advantage; it gains a kind of autonomy in its innovation strategies, a better flexibility and reactivity to outperform the general trend in the industry (which we define as **Criteria 2: A reactive capacity, through technical competitive advantage**)

Some industries are in the specific situation where for each platform generation, the range of future products is almost known but the range of technologies required is partly unknown. This is particularly the case in high technological velocity industries where these two platform renewal strategies might be considered unsuitable because « platform redesign » might not be innovative enough and « anticipation » might be too expensive and too risky as the objective appear too challenging. This paper targets this gap in the literature: depending on the technological change velocity, where are “anticipation” and “redesign” strategies relevant? Are (S1) and (S2) and their combinations the only identifiable strategies for platform renewal? What are the economic indicators that could help to manage the platform renewal process? What can be a design strategy that enables to prepare platform renewal for several generations (and not only for the next one)? The analysis of the state-of-the-art literature and the remaining research gaps announces three propositions:

- P1: In high-technological velocity environments, platform renewal strategies based on S1 are under-optimal for ‘**Criteria 1**’.
- P2-a: S2 strategies for platform renewal in high-technological velocity environments are relevant for platform development cost optimization (‘**Criteria 1**’).
- P2-b: S1 and S2 are not enabling technical competitive advantage for several platform generations (‘**Criteria 2**’).
- P3: There are some strategies (S3) based on design rule renewal that outperforms S1 and S2 for ‘Criteria 2’ and allow to define design strategies for several platform generations.

## **Research Method**

Our aim is to analyze the process through which an organization explores and adopts new design rules in order to prepare platform renewal. We propose an economical model based on classical models of production functions adapted to R&D contexts, ie taking into account the issue of competences which accounts for the variety of forms or platform shift design strategy over time and for their economic performance (i.e their value related to the competitive and technological landscape). We use and exploit “learning curve” modeled by Arrow (Arrow 1962) to model an ‘unlearning effect’ and describe design-rule obsolescence impact on platform development renewal activity, we then explain what are the different platform renewal foreseen and analyze through simulation what are relevant conditions for each of them.

In order to explore this model utility we carried out a field methodology research in a semiconductor manufacturer and analyzed the research project contribution to platform development in a specific case study. As a case-study, we focused on image sensor products, for which there is no technology roadmap (ITRS 2007), so that technology uncertainty is even higher in this range of products. Our case study took place in the unit in charge of exploratory projects (commonly called Advanced R&D) and we worked on one of the main innovation challenges of the “imager” business unit: the design of the next generation (platform) of the image sensors for digital cameras. This case actually implied several research projects, several innovation and development projects. In this context we analyzed in a longitudinal way four platforms and three platform shifts over time. We had access to main economic indicators and could track main R&D projects leading to the successive platforms. This enabled us to identify and discuss several types of platform shift strategies over time and discuss major decisions with managers.

This enabled us to track the processes through which new design rules are introduced. This research suggests three proposals discussed in this paper: first, we pointed out the relevance of research activities which embodies market, economic as well as technical principles enabling to manage value creation, integrating all the possible design alternatives into a strategic mapping process. Secondly, we show that in high velocity environments, advanced research projects enable prepositioning strategies in order to sustain platform development and design rules renewal. Finally, in high velocity environments, advanced research projects enable smooth transitions between different platform generations.

### **A Model for platform shift strategies description.**

A model is used to highlight the nature of the incentives of firms to invest in technology, more particularly how firms allocate these investments over different activities such as Research and Development. We concentrate on the nature of the activities and size of the investment budget to differentiate these two different types of technological investments. Technology clockspeed is usually associated to "how rapidly the underlying technology of a platform core is changing" (Fine 1998) (Fine 2000), in our model we propose to describe and define technological velocity as the velocity of design rules obsolescence. A design rule will be considered as "obsolete" when using the same design rule, designers will not be able to define an efficient platform potential to sustain product roadmap. Thus we assume that technological velocity environment will be described by design rule obsolescence velocity from a platform generation to the next one.

#### *Model Variables and Indices:*

- |               |   |
|---------------|---|
| - $i$         | : Model Scenario $i \in \{H; L\}$<br>$i = H$ (High-Technological-Velocity), $i = L$ (Low-Technological-Velocity).       |
| - $(X_F^i)_N$ | : Set of Design Rules that a firm F can use for PF design at generation N in Scenario i with $(0 < (X_F^i)_N \leq 1)$ . |
| - $X_0$       | : Set of Design Rules needed for PF development.  |
| - $R_0$       | : Costs attributable to PF development using $(X_F)_N$ in case 1 or $X_0$ in case 2.                                    |
| - $R'_0$      | : Costs attributable to exploration activities and new design-rules proposition.  |
| - $R''_0$     | : Costs attributable to experimentation for new design rules definition.  |
| - $\delta_i$  | : Design rule obsolescence rate for one platform generation for scenario i.   |
| - $C_{S_1}^i$ | : Costs attributable to S1 Platform-Shift strategy in Scenario i.   |
| - $C_{S_2}^i$ | : Costs attributable to S2 Platform-Shift strategy in Scenario i.   |
| - $C_{S_3}^i$ | : Costs attributable to S3 Platform-Shift strategy in Scenario i.   |
| - $n$         | : Design-rule life-time expressed in number of platform generations (n).  |
| - $\delta x$  | : Measure of the created design-rules.  |
| - $Q$         | : Number of design rules for a complete design rule stock $(X_F^i)_N = 1$   |
| - $q$         | : Number of available design rules with $q = \delta x \times Q$   |

## Modeling platform-shift strategies: S1 and S2.

In the previous section, we presented through a literature review the analysis of two platform-shift strategies, based on anticipation or adaptation principles and optimizing two kinds of criteria: investments and platform flexibility. In this part, we propose a model which enables to compare S1 (Simpson, Maier et al. 2001) (Farrel and Simpson 2003) and S2 (Rosenberg 1990) and define, depending on environments velocity when each kind of strategy is relevant.

Three main assumptions are underlying the proposed model. First, we propose to consider platform value as an exogenous parameter, this is particularly relevant in High-Technological Velocity environments where value is linked to product roadmaps (such in electronics, or semiconductor). We thus consider that platform performance is mainly defined by its development costs (H1) which means that a well-designed platform is a cheap platform that can be developed in a short time and enables to catch main market opportunities for a given time-window. The second assumption (H2) is linked to platform renewal time-pacing. Whereas, insights from the literature (Meyer and Mugge 2001) define a strategy that consists in extending a platform as long as possible, we consider that in High Technological Environments, time-pacing is known and that platform life-time is defined (H2) ( such as in semiconductor industry through platform roadmaps (ITRS 2007)). Therefore, platform succession is known and what we aim to model are the different strategies that enable to propose an efficient platform at a given time. Finally, the last underlying assumption is made on platform development costs where we aggregate at each generation all the required costs for defining a valuable and reliable platform (H3). These assumptions will be discussed in the fourth part of this paper. Now that we expressed the assumptions underlying our model let's define how we distinguish the different strategies for platform renewal.

This model is based on the representation of firm capabilities (Development or both Research and Development competencies: see Figure 1) and the definition of two cases illustrating S1 and S2 strategies. In the first one, Development capacity is defined as the capacity of design teams to exploit existing and available design rules in order to develop a new platform. Whereas, for a highly-skilled design team, we consider that  $(X_F)_N=1$  and platform development costs  $R_0$ , here, the aim is modeling the development effort made by a team with only limited experience and knowledge. Hence we look at modeling a kind of “unlearning” effect due to rapid knowledge obsolescence. As several studies have demonstrated the learning phenomenon in several activities (Rapping 1965) (Hirschmann 1964) (Joskow and Rose 1985), with S1 we model the opposite effect of Arrow's (Arrow 1962) “learning by doing” phenomenon and ride learning curve in the opposite direction. Thus in S1, we consider that the firm has only development capacities which allow developing a platform using  $(X_F)_N$  (the available design rules), in analogy to these approaches we propose to consider that the exploitation of existing design rules activity (as a fine-tuning capacity) will have such an expression:

$$C_{Development} = R_0 / (X_F^i)_N$$

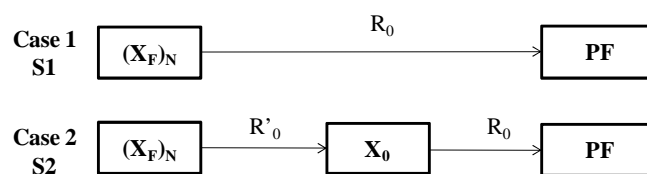


Figure 2: Platform-shift design strategies S1 and S2.

In second case which illustrates platform-shift strategy based on design-rule renewal, the considered firm has both Research and Development capacities. More specifically, research is used for design rules production and development for platform design parameters and modules optimization from a defined platform to the next one. In this case, the firm has a design rule production capacity which allows to regenerate platform design rules asset (from  $(X_F)_N$  to  $X_0$ ) and Research is defined as firm capability to recognize, select and introduce new design rules. Consequently, the firm has a capacity to activate research for design rules stock renewal when  $(X_N)_F$  is under an  $X_0$  defined level. Research cost will be expressed as the cost of renewing a design rules stock, therefore, we use classical production formulas:

$C_{Research} = \rho \times q^Y$  with  $\rho$  the unitary cost for design rule production and  $q$  the set of design rule produced, therefore:

$$C_{Research} = \rho \times (Q \times \delta x)^Y \rightarrow C_{Research} = \rho \times Q^Y \times (\delta x)^Y \text{ and:}$$

$$C_{Research} = R'_0 \times [X_0 - (X_F^i)_N]^Y \text{ with } R'_0 = \rho \times Q^Y$$

As it is shown by the  $R'_0$  expression above,  $R'_0$  represents the research cost of all design rule set production. Therefore, research costs will be considered at a first order as proportional to the set of the design rules produced. As we have defined development and research activities, their nature and contribution for platform renewal strategies, we propose in the next section to present  $(X)_F$  evolution in each case.

#### Learning rates and environment technological velocity

We propose to define two scenarii (scenario L and H) for the low and high obsolescence velocity cases where  $X$  behaves as a linear function of time, therefore for each platform generation:

$$(X_F^i)_{N+1} = (X_F^i)_N - \delta_i \quad \text{with } i \in \{L; H\} \text{ and } 0 \leq \delta_L < \delta_H < 1$$

Here,  $\delta_i$  is considered as a discount rate or a depreciation rate used for the evaluation of existing design rules application from a platform to a new one. We assume that for the first platform  $PF_N$  all the design rules are known and in the figure below we represent  $X$  evolution from a platform to a new one as a percentage of initial available design rules. As an example if  $(X_F)_N=100\%$  at each platform generation this means that designers are very knowledgeable about what has to be designed, as uncertainty increases less and less design rules are available for platform development at each generation.

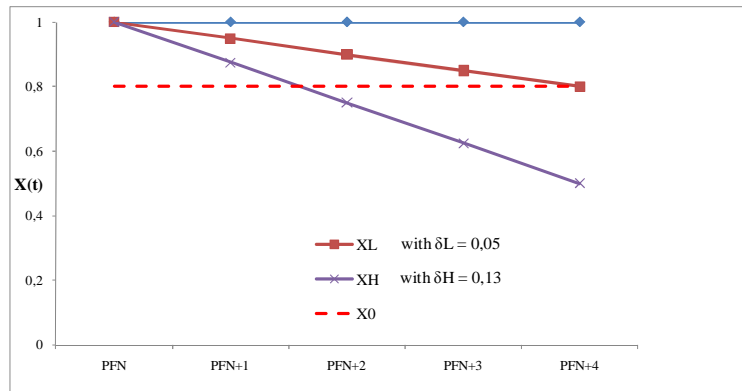


Figure 3: Design Rule obsolescence and technological velocity environment.

In order to develop a new platform, design teams need to have  $(X_F)_N = 1$  (a complete design stock), that is to say to have all the design rules that enable to define platform modules, components and interfaces. To distinguish Research from Development activities, we define  $X_0$  as the minimum set of design rules that development can use in order to propose a reliable and valuable platform. As an illustration, we present in Figure 3 the two cases based on scenario H (HTV case).

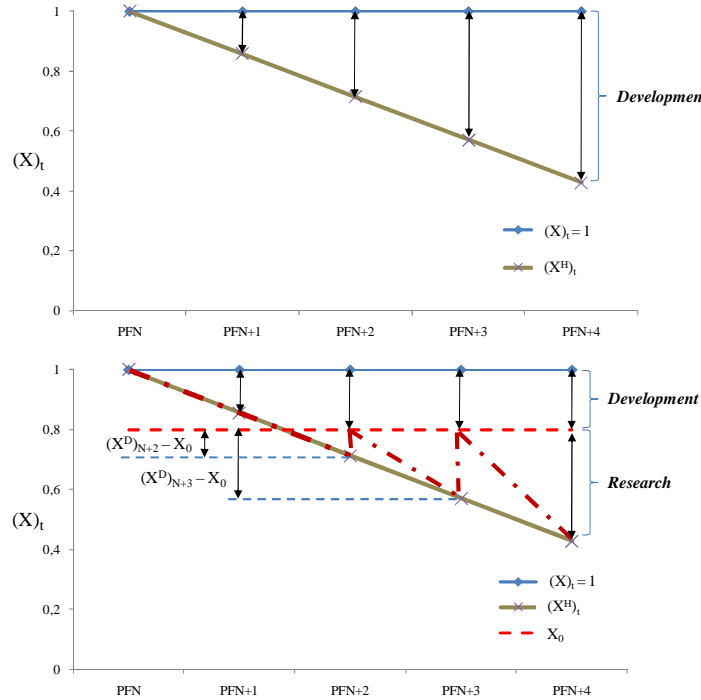


Figure 4: Comparison of X evolution for F following S1 and S2 strategy in scenario H.

In the first case,  $(X_F)_N$  decreases linearly at a  $\delta_H$  velocity, this means that at each N generation, design teams have  $(X_F)_N$  design rules in order to explore, develop and validate a new platform. In the second case, Research is in charge of producing  $[(X_F)_N - X_0]$  design rules before that development uses these  $X_0$  design rules for new platform development. In this specific case, the design rules stock produced at platform generation N are valid for only this platform generation and become obsolete for the next one.

*Modeling 'Criteria 1' and 'Criteria 2' for S1 and S2 platform renewal Strategies.*

For criteria 1 in S1 case, platform renewal is based on platform development exploiting an existing design rule stock, therefore a platform-renewal based on development activity (S1) will have a cost:

$$C_{S1}^i = R_0 / (X_F^i)_N$$

$C_{S1}^i$  denotes the cost of platform development using  $(X_F^i)_N$  existing design rules and  $R_0$  is the cost of platform development.  $C_{S2}$  will be expressed in two parts, the first one expressing design rules cost production from  $(X_F)_N$  to  $X_0$ , the second one the exploitation of  $X_0$  design rules for platform development. Thus we express platform renewal cost with S2 strategy as:

$$C_{S_2}^i = R'_0 \times [X_0 - (X_F^i)_N] + R_0/X_0 \text{ for } X_0 > (X_F^i)_N > 0$$

$$C_{S_2}^i = R_0/(X_F^i)_N \text{ for } X_0 \leq (X_F^i)_N \leq 1$$

$[X_0 - (X_F^i)_N]$  represents the stock of design rules that have to be produced by exploratory units enabling platform development. With regards to ‘Criteria 2’, we model the firm technical competitive advantage as its capacity to reduce  $\delta_i$  impact on  $(X_F)_N$  evolution. Actually,  $\delta_i$  is an exogenous parameter which represents design rules obsolescence velocity (due to technological or business evolutions). Therefore, a firm that has a technical competitive advantage is able to manage  $\delta_i$ . Regarding the impact on  $(X_F)_N$  we can notice through Figure 4 that S1 and S2 are equivalent, i.e for each platform generation S1 and S2 afford the same design rule amount  $(X_F)_N$ . This means that S1 and S2 don’t afford any technical competitive advantage for reducing  $(X_F)_N$  obsolescence induced by exogenous parameters (such as market trends or technical roadmaps).

As the platform renewal strategies have been defined through, obsolescence rate, design-rule renewal, cost functions and platform-development mechanisms, we propose in the next section some simulations linked to this model application in order to deduce insights about S1 and S2 in high-technological velocity environments.

### Model simulation and Scenarii Analysis

In this part we propose in a first approach to define independently from environment velocity what are relevant domains for S1 and S2 PF renewal strategies. This will lead us to define a shift strategy for which  $X_0$  allows an optimized investment logic ‘criteria 1’.

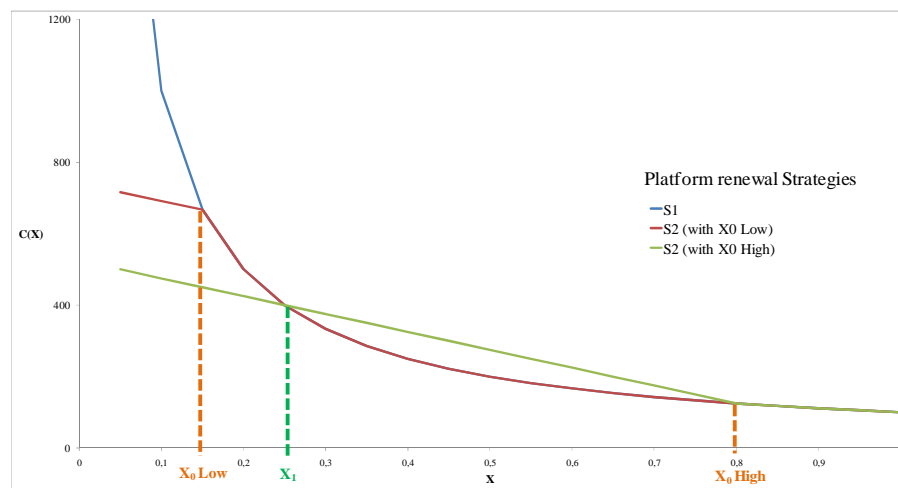


Figure 5: Comparison of cost evolution for S1 and S2 (with low  $X_0$ , high  $X_0$ ) strategies.

Figure 5 suggests different comments. Firstly in S1 strategy platform renewal costs decrease in  $1/X$  which means that this kind of strategy is interesting in case of high level of available design rules set. In S2 with High  $X_0$  case, for  $X$  spread from  $X_0$  to  $X_1$ , S1 prevails. In this domain, using an S2 platform renewal strategy will induce an overinvestment in research whereas using existing design rules will enable an effective platform design. The last point is that for  $X$  under  $X_1$ , adopting a platform-shift strategy based on design rule renewal



appears more cost effective. In S2 with low  $X_0$  S1 prevails for  $X > X_0$  and S2 prevails for  $X < X_0$ . Consequently we define two domains, the first one where S1 prevails and the second one where S2 prevails. However this first simulation doesn't tell so much about environment velocity impact on platform renewal strategies, it has the advantage to present domain dominance for each strategy (depending on design team approach for Design Rules exploitation).

As we analyzed S1 and S2 strategies, we focus in the next section on environment velocity impact on these platform-shift strategies (first in Low Technological Velocity Environments (LTVE) then in High Technological Velocity Environments (HTVE) so as to compare the relevance of these strategies in different industrial contexts).

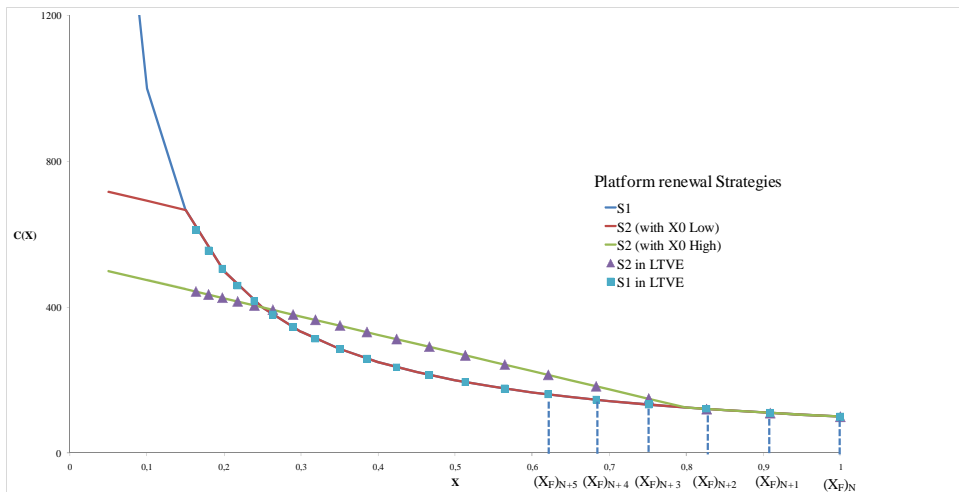


Figure 6: Comparison of S1 and S2 platform renewal strategies in LTVE

In low velocity environments, as  $(X_F)$  decreases slowly at each platform generation, the remaining set of design rules is sufficient for new platform development. This is particularly obvious in Figure 5, where S1 platform renewal approach prevails on S2 for several generations. Therefore, in this kind of environment Research activities and new design rules production can be considered as a wasting R&D effort and S2 is not relevant.

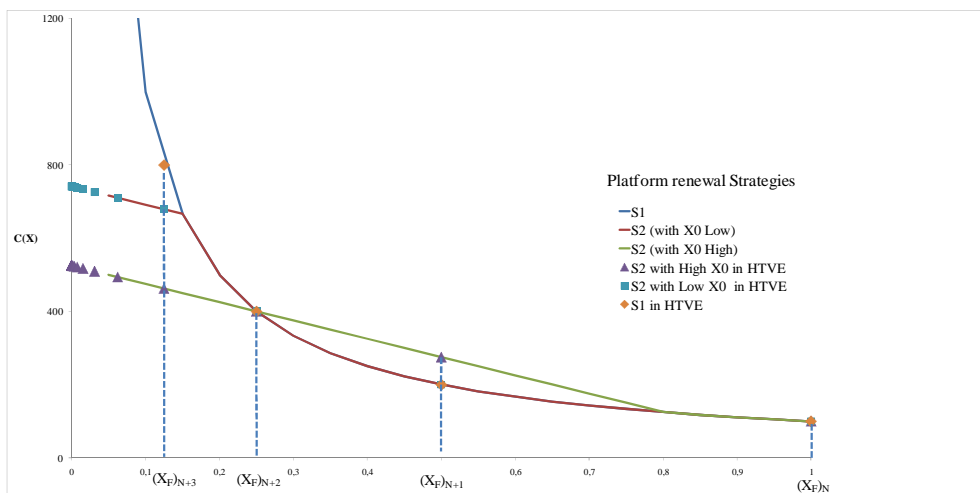


Figure 7: Comparison of S1 and S2 platform renewal strategies in HTVE

In the HTVE, design rules are rapidly obsolete, consequently their renewal is an iterative issue. As illustrated by the simulation based on scenario H, we notice that from  $(X_F)_{N+3}$ ,

platform renewal strategies based on S2 mechanisms are more suitable than S1. S2 helps to propose a better balance than S1. Therefore, using this graph we identify a logical sequence for platform renewal strategies based on successive S1 and S2 approaches:

$$PF_N : S1 \rightarrow PF_{N+1} : S1 \rightarrow PF_{N+2} : S2/S1 \rightarrow PF_{N+3} : S2.$$

As a conclusions, in this section we compared S1 and S2 platform-shift strategies and shown where each of them is relevant, depending on the level of technological obsolescence.

*From S1 to S2 transition optimization.*

In the last section we stressed the particular relevance of S2 in HTVE. This suggests a question about S2 optimization and  $X_0$  definition: is there a defined  $X_0$  for which S2 is optimal? These two first graphs enable to define an optimal strategy which enable to optimize design costs for S1 and S2 platform renewal strategies. At this specific point ( $X_0$  optimal) the CS1 and CS2 curves are tangent:

$$\frac{\partial S_1}{\partial X}(X_0 \text{ optimal}) = \frac{\partial S_2}{\partial X}(X_0 \text{ optimal}) \rightarrow X_0 \text{ optimal} = \sqrt{R_0/R'_0}$$

Therefore we show that there is an optimal point ( $X_0$  optimal) for which shifting from S1 to S2 is relevant. One of the interpretation that we can associate to this expression is that the more  $R'_0$  is high (this means that research activities are costly, due to exploration and screening processes) the more  $X_0$  optimal will be low, which means that Research will be asked to produce very few design rules. Conversely, if  $R'_0$  is very low, this means that Research activities are very cheap (e.g : funded by public offices) and therefore,  $X_0$  optimal is very high, which means that Research will be asked to propose, explore and develop design rules ready to be transferred to development.

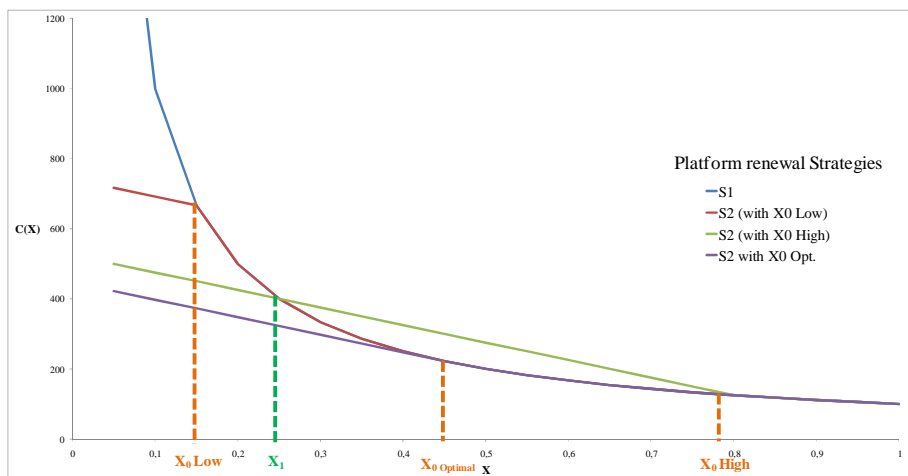


Figure 8: Optimizing S2 platform renewal strategy

Through this model and its simulation, we have shown that S1 and S2 strategies for platform renewal are different regarding the investment optimization issue (for the following platform) but make no difference in term of design rules renewal at a longer term (PF N+2, PF N+3, ..., PF N+t). Beyond S1 and S2, we can infer an S3 strategy that integrates design rule stock renewal issue for several platform generations that will be presented and explained in next part.

### New platform renewal strategy (S3) based on design rule stock renewal

In this section we propose to define Advanced R&D (ARD) as firm capacity to produce  $\delta x$  design-rule stock valid from  $N+2$  until  $N+t$  platform generations. The main difference between R and ARD relies on time-depth design-rules applicability. Whereas in R the produced design-rules are only valuable for next platform generation, ARD enable to define design-rules for multiple platform generations. ARD activity cost follows R activity logics as it can be assimilated to a design-rule stock renewal, therefore its cost function as a production function will be defined as:

$$C_{ARD} = R''_0 \times (q \times n)^\beta$$

The cost of such activity shows an increasing return both for the time depth (a longer design rule validity costs relatively more, as uncertainty is growing) and for the number of design rules added to the design rules stock, because of the validation of the interactions and the compatibility between each design rule (this means that  $\beta \geq 1$ ). With S3, our aim is to model a company that has the capacity to develop  $\delta x$ , a relative increase of design rules stock that is valid for  $t$  platforms (and beginning at the over-next one) and could lead to a technical competitive advantage (see Figure 9).

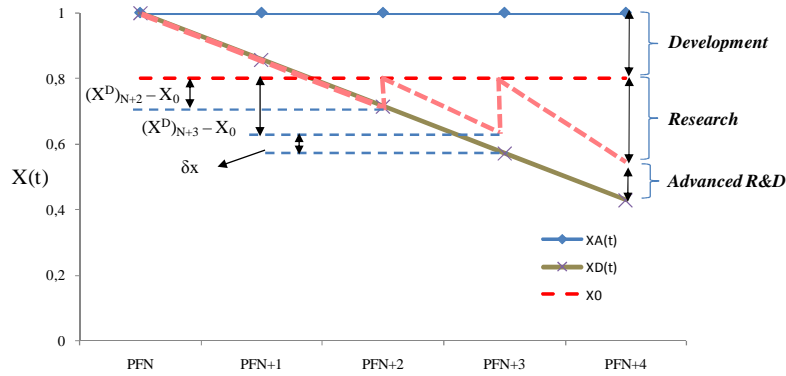


Figure 9: Defining S3 as a pre-positioning strategy based on a reliable design rule.

More precisely, in S3 case for a given platform (generation  $N$ ), firms makes both Advanced R&D, Research and Development for the next platform. Therefore, instead of looking only for investment optimization, S3 platform renewal rely on the proposition of a valuable design rules stock. Regarding 'Criteria 1' S3 cost has the following expression:

$$C_{S_3}^i = R''_0 \times (q \times n)^\beta + R'_0 [X_0 - X_F^i] + R_0 / X_0 \text{ for } X_0 > (X_F^i)_N > 0$$

$$C_{S_3}^i = R_0 / (X_F^i)_N \text{ for } X_0 \leq (X_F^i)_N \leq 1$$

Here, ARD launched in  $PF_N$  leads to  $\delta x$  design rules capitalization that can be used in  $PF_{N+2}$ , which enables an economy of research in  $PF_{N+2}$ . Therefore S3 compared to S1 and S2 lead to a  $\delta x$  technical competitive advantage, which means that S3 outperforms S1 and S2 for 'Criteria2'. Regarding 'Criteria 2', the objective is to define a valuation method for design rules stock renewed. Thus we define  $q = Q \times \delta X$ , as the parameter that represents this design effort with  $\delta x_0$  is the minimal fraction of the required design rule stock ( $Q = 1 / \delta x_0$ ) for platform development (representing the relative size of an elementary rule). The value of  $\delta x$  for one time period is the value of design rule stock increase, as a first approximation, we model this increase by valuing only the economy of design efforts for the following

generation. The value (V) is computed by comparison with a reference scenario defined as design rule stock for  $PF_N$  with  $(X_F)_N$ , but without  $\delta x$  through three cases:

DR stock level	Nature of the economy	Value
$0 < (X_F)_N < X_0 - \delta X$	$\delta X$ enables an economy of ARD	$V(\delta X) = R'_0 \times \delta X$
$X_0 - \delta X < (X_F)_N < X_0$	Economy is the difference between D and ARD costs	$V(\delta X) = R'_0 \cdot (X_0 - X_F) + \frac{R_0}{X_0} - \frac{R_0}{(X_F)_N + \delta X}$
$X_0 < (X_F)_N < 1$	$\delta X$ enables an economy of Development	$V(\delta X) = \frac{R_0}{(X_F)_N} - \frac{R_0}{((X_F)_N + \delta X)}$

As previously shown, the optimization of ARD activity leads to define an optimal  $X_0$  optimal for which  $X_0 \text{ optimal} = \sqrt[3]{(R_0/R'_0)}$  which gives the shape of the curve below. This figure shows that if the company does not follow the optimal S2 strategy (i.e  $X_0$  is significantly lower than  $X_0 \text{ optimal}$ ), the maximal value is obtained in  $X_0$ ; this kind of firm tends to overinvest in ARD and consequently the maximal value of the design rules stock renewal lies around  $X_0$  and  $\delta X$  is used to correct this overinvestment.

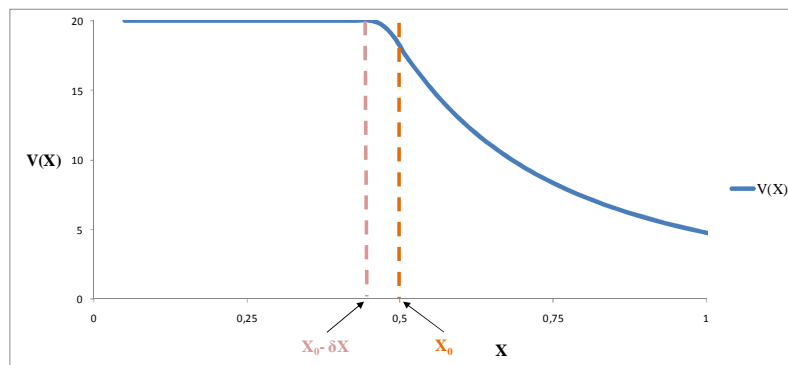


Figure 10: Design-rule stock value evolution.

Therefore, this model gives two main insights.

**Consequence 1:** The first one is that the value  $V(\delta X)$  is significant for  $(X_F)_N < X_0$ , for higher values of  $(X_F)_N$ , the value decreases as  $1/X^2$ . Therefore, a pre-positioning strategy is particularly relevant for low level of design rules stock, which is the case in High Technological Velocity Environments.

**Consequence 2:** The second one is that the value  $V(\delta X)$  decreases strongly if  $X_{F+} \delta X > X_0$ , this means that pre-positioning strategies bring value as long as  $\delta X < X_0 - X_F$ , which indicates that this kind of strategy is valuable for a limited increase of design rules stock.

A more sophisticated valuation could take into account the fact that design rules renewal brings a greater capacity to take clever technical and scientific positions in the field. Evaluating this ARD capacity, we look for optimal  $q$  and  $n$  that maximize the benefit of renewing design rules stock. We therefore maximize the function:

$$f(q, n) = V(q, n) - C_{S_3}^i \quad \rightarrow \quad \frac{\partial f(q, n)}{\partial n} = R'_0 \times \frac{q}{Q} - \beta R''_0 q^\beta n^{\beta-1}$$

This brings:  $\frac{\partial f(q, n)}{\partial n} = 0 \quad \rightarrow \quad (qn)^{\beta-1} = \frac{R'_0}{Q\beta R''_0}$

This expression suggests a third consequence for ARD activities. Actually  $qn \geq 1$  if and only if  $R''_0 \leq R'_0/Q\beta$  and  $R'_0/Q$  is the expression of the research cost allocated for one elementary

design rule. This means that the unitary cost of developing one elementary design rule for a defined platform has to be lower than the research cost of an elementary design rule divided by  $\beta$ . That is to say that ARD cost has to be significantly lower than the cost of anticipation research which implies that ARD has to minimize  $\beta$ , which means that one of the requirements for ARD activities is to produce design rules that are generic over time and easily compatible with each-other.

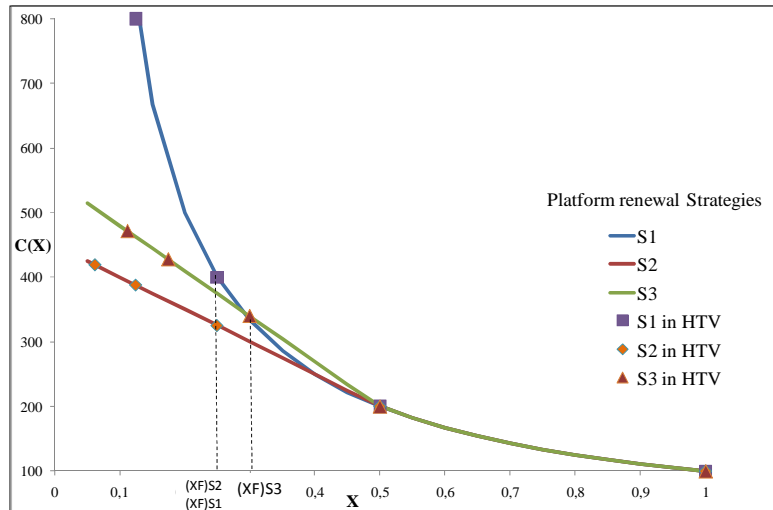


Figure 11: S1, S2 and S3 comparison in High-Technological Velocity environments.

S3 is a different platform renewal strategy from anticipation and adaptation that can be characterized as a “pre-positioning” strategy. In that sense, S3 does not only anticipate the development of the next platform but it aims at configuring the stock of Design Rules that enable clever positioning for the development of multiple future platforms.

As a conclusion of this part, we demonstrated that the optimization of the set of design rules leads to a combination of Research and Development with a turning point for the beginning of research. This is particularly the case in HTVE where S1 is rapidly an unsustainable strategy for platform renewal (P1), whereas S2 is relevant for platform development cost optimization (‘Criteria 1’) with  $X_{0\text{ optimal}} = \sqrt{R_0/R'_0}$  (P2).

Nevertheless, it is interesting to underline the fact that these strategies have no effect on the design rules stock renewal and don’t afford any technical competitive advantage (P3). As shown in the last part of this section, a prepositioning strategy consists in including the design rule stock renewal in the strategy. Our model shows that this strategy is not self evident since its validity area is limited. Prepositioning strategy S3 is interesting for HTVE, at low design rule stock level, and for a limited design rules set renewal. To optimize S3 strategy, ARD teams will try to limit  $R''_0$  and to increase time and scope genericity of the produced design rules (P4).

In the next section, we illustrate through a case-study in a high-technological velocity industry the insights suggested by our model.

## **Case study: Designing the next generation of cell phone image sensor platforms**

While industries such as ICT, biotechnology or semiconductors have been characterized as high-velocity environments, in which demand, competition and technology are constantly changing, we settled a collaboration research with an Integrated Device Manufacturer (IDM) with the aim to at explore the utility of our method. The data to test this model were gathered from a specific application, which is image sensor platform. Image sensors made a big jump in the 2000's with the introduction of CMOS sensor technology which gave birth to the low-cost, high volume camera phone market. Image sensors are now part of our everyday's life: from cell-phone cameras, to notebook webcams, digital cameras, video camcorders to security and surveillance systems. This kind of device became a central business for STMicroelectronics when it appeared possible to use Silicon wafers as a photodiode; then it was possible to build an electronic integrated circuit on the wafer to treat the photodiode signal, the electronic treatment stack being produced by using classical CMOS technologies (ie technologies used for microprocessors). The market for image sensors has been experiencing explosive growth in recent years due to the increasing demands of mobile imaging, digital still and video cameras, internet-based video conferencing, surveillance and biometrics. With over three hundred million parts shipped in 2007 and an annual growth rate over 25%, image sensors have become a significant silicon technology driver.

Studying the historical record of image sensor in the company required many discussions and interviews with engineering teams, researchers, PhD students and marketing managers in charge of platform development. The first task of our field research study was to build platform maps and transitions distinguishing Development efforts from Research and Advanced R&D activities. In total, the data set contained information for five platforms, which provided a rich database on platforms renewal approach to explore the utility of our model.

### ***Empirical data.***

#### *Image sensor platform: trends and evolution.*

An image sensor is one of the main building blocks in a digital imaging system (such as digital still or video camera) and is one of the main elements of the image pipeline. It is composed of millions of pixel, each pixel translating the incident light on it into one bit. The rest of the pipe consists in “integrating” the stored pixel signals to produce the image. In our study we focus on the technology platform which is the pixel array and more precisely the pixel itself defined mainly by its architecture, components, manufacturing processes and size. If we consider pixel size evolution in the last ten years, the main trend concerning the image sensors is their size diminution (to improve the resolution of the sensor) at a regular and rapid time pacing.

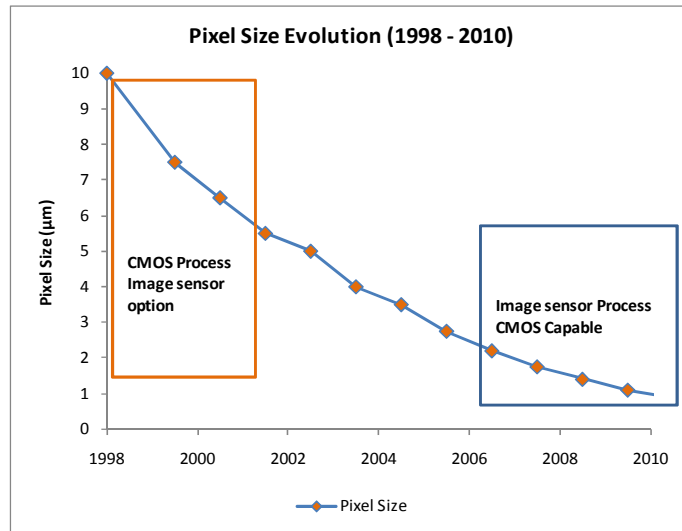


Figure 12: Pixel trend from a CMOS to a specific Image sensor process(Jaffard 2008).

Image sensors benefit from CMOS technology scaling by reducing pixel size, increasing resolution, and integrating more analog and digital circuits on the same chip with the sensor at each generation. As image sensor products this rapid image sensor evolution had an impact on its architecture, processes, modules and design rules. This can be analyzed at several levels. Meyer & al. propose an evolutionary model for the product family which suggests that a firm must seek to continuously renew its base product architectures while mining the commercial potential of existing platform. Following that framework, we show in Figure 4 how platform renewal process is based on extension approach or new design rules production by positioning in this map the different identified platform-shift strategies (S1, S2 and S3).

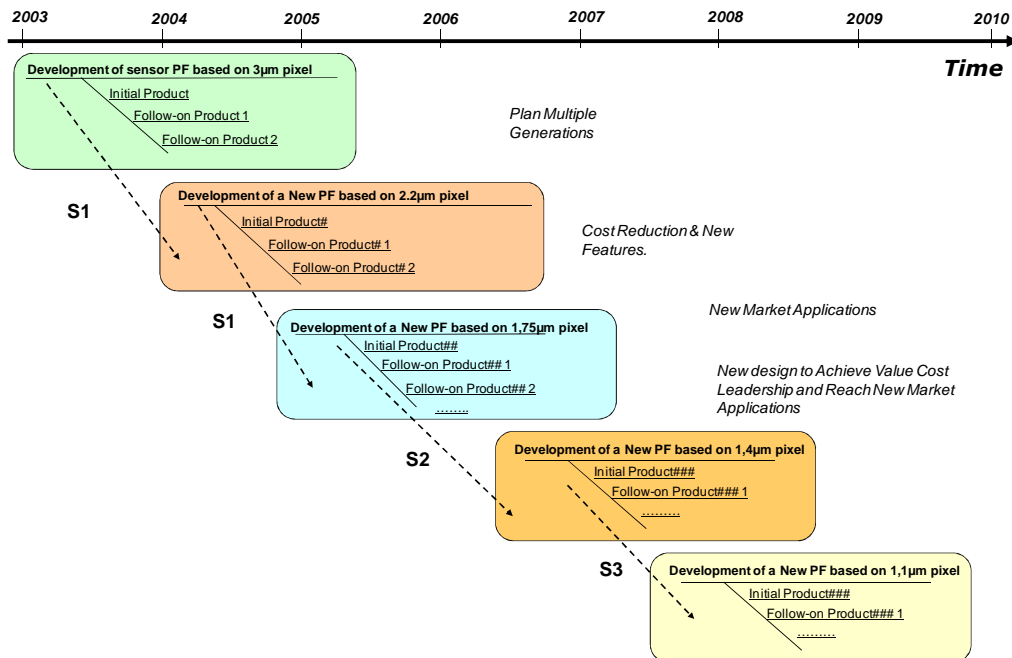


Figure 13: Image sensor Platform renewal process using Meyer framework (Meyer, Tertzakian et al. 1997).

As image sensor platform roadmap is driven by Mobile camera applications, image sensor module trend is mainly based on more compact modules at each generation. As an example, between 2001 and 2006, the VGA module went from a 1cm<sup>3</sup> to 0,05cm<sup>3</sup> volume,

which means that its volume has been reduced by a factor 20. This shows that for the same resolution and performance in term of image quality, a huge work has been made on each platform in order to sustain product trend. In the late 2007, it became clear that some sort of threshold would be reached soon. The traditional approach could not be improved any further relying on the introduction of incremental innovations focused on specific functional blocks of the classical image sensor platform. Facing this situation we present in the next section what have been Advanced R&D design strategies and propositions, which will enable us to shed the light on the debated issue about the relationship between design rules and platform renewal issues. At each image sensor generation, surface reduction tends to decrease the performance of the single pixel, since each one receives less light, therefore one of the main challenges consists in shrinking the pixel size without decreasing the pixel performances. To meet this challenge, several innovation projects have been launched ranging from classical improvement to more discontinuous projects.

At STMicroelectronics several teams are designing the next generation of cell phones image sensors. It is not self evident to understand the role of each team in the overall design process: it is neither a pure Work Breakdown Structure where each team would be in charge of one module; nor is it a competitive process where each team explores one single solution in the hope to be selected as the winner entering the development funnel. The analysis consisted in meeting with each teams to clarify the concepts they are working on, the knowledge they are using and producing and the relationships they have with other actors. Studying the historical record of the image sensor product platform required many discussions with engineering and marketing managers. The first step in field study was to distinguish for each platform generation, the development from the research projects and to specify their links. Studying the evolution of a specific platform, we distinguished different renewal phases which will be described in next section.

#### *Platform shift strategies analysis through four Image sensor generations.*

Image sensor platform and more precisely pixels are mainly made of four Modules, the first one (M1) is the sensitive part made of silicon where photodiode and transistors are processed, then are oxide layers used for the interconnection between the transistors (M2) and the photodiode (M3). On the top of these interconnections there is a specific layer used for the color resist (M4) and finally the micro-lens (M5) which is used for focusing optical incident signal on the photodiode. Considering the classical approach we can notice that developing each new image sensor generation consist in keeping same design rules and optimizing each block in order to develop each new image sensor generation.

Analyzing image sensor projects at every generation let us notice that for image sensor, platform design from 1<sup>st</sup> to 3<sup>rd</sup> generation consisted in optimizing design parameters (such as material or process used, stack height, transistor numbers by pixel) of each module keeping the same design rules, which is in correspondence with S1 platform renewal design strategy. For these generations, there were no Advanced R&D projects as the design parameters enabling “platform design” were well defined. For the fourth platform generation, Advanced R&D activity consisted in exploring new design paths, proposing new design rules by new module introduction which enabled an optimal performance for the forthcoming platform (Platform 4 and next ones). In the next figure we synthesize all the modifications made at each generation in order to improve image sensor platform performances.



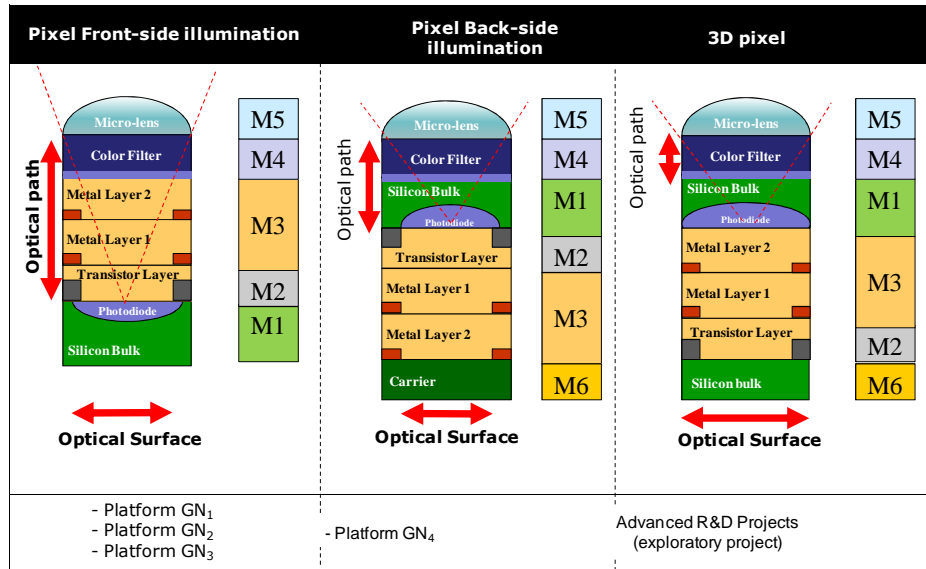


Figure 14: Pixel evolution and new design rules development.

As a conclusion for this part, in this case-study three platform-shift strategies have been analyzed and presented. The first kind of platform-shift can be described in the switch from Platform 1 to Platform 2 which is mainly based on anticipation and existing platform extension (S1). The second one is the platform-shift strategy settled in the switch from Platform 2 to Platform 3 which is based on local search process, which enables to improve different modules (S2). Last kind of platform-shift strategy is represented in the switch from Platform 3 to Platform 4 which is based on Advanced R&D technological blocks integration and the exploration of original design path (it seems that this kind of strategy has not yet been characterized). We present in the next section an application of the previous model that describes the mechanisms of platform-shift logics depending on environment technological velocity. We then discuss the representation and interpretation of the main parameters to conclude with the managerial implications on platform-shift logics.

*Advanced R&D contribution to platform renewal and platform shift strategies analysis.*

Linked to platform renewal issue, and platform development, one of the main objectives for the Advanced R&D is the exploration of breakthrough technologies for new design rules proposition. For instance, a discontinuous alternative investigated by the exploratory unit is to “suppress” the optical stack containing all the electronic components for signal treatment so that pixel performance can be maximal (such a concept would lead to an “ideal” optical surface for the pixel but requires to completely change the semiconductor process, to be able to stick, assemble and connect complex nano-electronics building blocks) (see Figure 14). This kind of approach offers multiple benefits as it increases photodiode area (enabling a higher density) and lowers optical path (as seen in Figure 5 and Figure 6) but it brings also drawbacks such as process complexity (which has as major effect to increase image sensor cost). However these alternatives are far from being solutions: they rather emerge as multiple design paths for future explorations. For instance, whereas Tohoku University and the MIT propose to develop parallel approach for 3D image sensor integration (V.Suntharalingam, Berger et al. 2005); (Koyanagi and Fukushima 2006), ARD proposed another alternative to develop the same kind of device, based on a “sequential” (Coudrain, Batude et al. 2008) process which would imply to re-process the first stack in order to develop the second part above the first one. This second approach has several constraints (the main one is the thermal budget of the first stack) but is an answer to the

main constraint generated by the bonding of two distinguished parts (the precision of the alignment). Performances improvements have been based on process and there are new promising technologies for which there is a significant cost gap to overcome. Therefore, in this case-study we can notice that advanced R&D attribution is to propose new design rules that helps to design platform potential and more precisely platform robustness (in term of design path) and value (for sub-micronic pixels).

*Applying our model to the case-study: Variables and Indices definition for D, R and ARD*

In previous part, through case-study description, we have shown that D activities are based on existing design rules exploitation for new platform development; R activities consist in producing new design rules for next platform and ARD activities. Applying our model to this case-study implies to specify several inputs and hypothesis. Regarding resources and cost estimation, we considered for the development part engineers (in this specific case, as some engineers work simultaneously on two platform we consider that they work half-time on a specific one) and prototypes, for the R and ARD part the different researchers and PhD students involved in these projects. Therefore we express in arbitrary units resources involved for each platform generation:

	PF <sub>1</sub>	PF <sub>2</sub>	PF <sub>3</sub>	PF <sub>4</sub>	PF <sub>5</sub>
D	150	150	150	125	125
R			3	8	6
ARD			1		

Figure 15: Resources in arbitrary units for D, R and ARD.

For Q estimation (total number of design rules), we gathered our data from two sources which are DRM (Design Rule Manual), the main document describing main sensor blocs and physical layout and process-flow which precises all the process steps required for image sensor platform manufacturing. As we had only a limited access to PhD student works regarding R activities in progress, we used as a proxy of their design rules production, an evaluation of the number of the DRM pages and process-flow steps that they were able to dicuss (in our case we assume that R activities enable to discuss further 3 of the 100 DRM pages and 12 of the 250 process steps, which means that  $Q = 100$ , and  $q = 3$ ). For ARD activities, we assume  $n=2$  (this means that the design rules produced are useful for two platform generations) and  $\beta = 2$ , which signifies that for 2 design rules (e.g : A and B) to be produced by ARD, ARD is supposed to produce A, B, to verify and validate “A  $\rightarrow$  B” and “B  $\rightarrow$  A” interactions. We then estimate  $X_{PF1}$  comparing the percentage of specific image sensor steps compared to common CMOS processes (we find that  $X_{PF1}=45\%$ ). In the next part we explain how, thanks to these several inputs, we are able to explore model utility through our case-study.

*Modeling the case-study*

Thanks to these empirical data, the aim of this section is to define for each PF the couple  $((X_F)_N, C_{PFN})$  we are able to trace back and analyze S1, S2 and S3 as trajectories corresponding to the different PF renewal strategies followed by the firm. This will enable us to compare theoretical to empirical results. Thanks to empirical data and model equation we are able to link  $R_0$  to the different  $X_{PFN}$  ( $X_{PF1}$ ,  $X_{PF2}$ ,  $X_{PF3}$ ,  $X_{PF4}$  and  $X_{PF5}$ ) and the platform for their which there is research ( $X_0$  for PF3, PF4 and PF5).

On the one hand, from model hypothesis we have different equations linking several parameters (as an example,  $X_{N+1} - X_N = \delta X$  gives us three equations linking  $X_{PF1}$ ,  $X_{PF2}$ ,  $X_{PF3}$ ,  $X_{PF4}$  and  $X_{PF5}$ ). On the other hand, empirical studies through interviews revealed an issue linked to value parameter estimation. As an example, we know that first platform was over-estimated (over-investment in comparison to resources needed), therefore we look at finding a theoretical value for  $X_{PF1}$  rather than using development cost formula for  $X_1$  estimation. The interviews showed also that PF2 was under-estimated (not enough investments) which lead to several delays and impacted platform performance, therefore as for  $X_1$  we intend to define a theoretical value for  $X_{PF2}$ . Finally among the ongoing research studies runed by PhD Students, some of them are lead for the ongoing platform whereas some others are for the next platform generation. As we were not able to identify a clear boundary for these research activities, we will not use these inputs. All these elements bring us to estimate  $X_i$  for  $X_{PF3}$ ,  $X_{PF4}$ , and  $X_{PF5}$  using platform development costs and research costs.

Platform generation	C Development	C Research
PF3	$R_0/X_{03}$ [1]	$R'_0 \times (X_{03} - X_3)$ [4]
PF4	$R_0/X_{04}$ [2]	$R'_0 \times (X_{04} - X_4)$ [5]
PF5	$R_0/X_5$ [3]	??? (Not easy to be identified)

As  $X_{N+1} - X_N = \delta X$  for  $X_{PF1}$ ,  $X_{PF2}$ ,  $X_{PF3}$ ,  $X_{PF4}$  and  $X_{PF5}$ , we deduce that:

$$X_{PF4} = \frac{3 \times X_{PF3} - X_{PF1}}{2}$$

Using : [6] -  $X_{0\text{ Optimal}} = \sqrt{R_0/R'_0}$

$$[7] - C_{ARD} = R''_0 \times (q \times n)^\beta \quad \rightarrow \quad R''_0 = C_{ARD} / (q \times n)^\beta$$

$$[8] - C_R = R'_0 \times [X_0 - (X_F^H)_N] \quad \rightarrow \quad R'_0 = C_R / [X_0 - (X_F^i)_N]$$

With these equations we define  $X_{0\text{ Optimal}}$ . These data enable to plot the different graphs representing S1, S2 and S3 and to follow firm trajectory for platform renewal monitoring.

$X_{PF}$		Empirical Value	Theoretical Value
$X_{PF1}$	45%	150	133
$X_{PF2}$	38%	150	158
$X_{PF3}$	31%	174	174
$X_{PF4}$	24%	173	173
$X_{PF5}$	27%	161	167

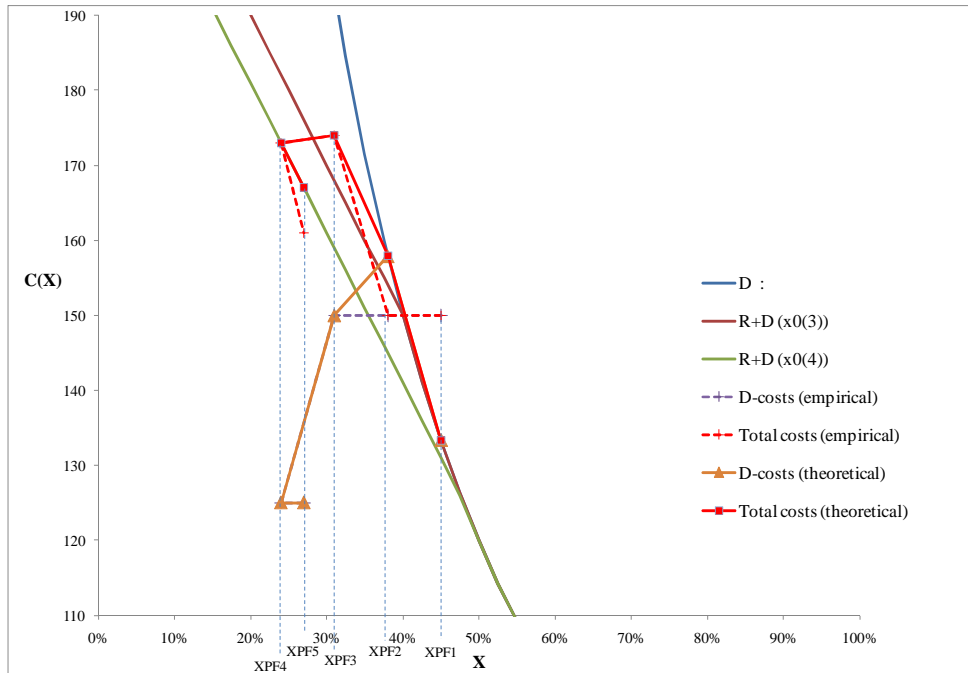


Figure 16: Modeling Platform renewal strategies in image sensor case-study.

In next part we analyze through Figure 16 interpretation what have been firm decisions for platform renewal from PF1 to PF5 and what can be next positioning for forthcoming platforms.

*Case-study analysis.*

Comparison between empirical data and theoretical model suggests several comments. Firstly, we find back theoretical cost values for  $X_{PF1}$  and  $X_{PF2}$  and confirm an overinvestment in PF1 and an underinvestment in PF2. We also find back a credible value for research. The second point is that this model allows giving an interpretation of firm's behavior and strategy selection. As described in figure 16, firm begins by launching PF1 through a development process, before activating R and ARD little by little, generation after generation, then ARD stops when design rule stock is at an acceptable level. Here, the main challenge relies on firm capacity to estimate its design rule stock level.

Therefore, investments in D, R and ARD aim at optimizing design rules stock exploitation (Criteria 1) for platform development and its renewal value (Criteria 2) using successive adjustments:

- For PF1 and PF2, adjustments give some insights on initial platform development and enable to estimate at a first order  $R_0$  (as it is over-estimated for the first one and under-estimated for the second one).
- Then, as development investments increase, firm decide to begin research activities but again, one of the main challenge is to give an estimation of the  $X_0$  optimal level, with an  $X_0$  for PF3 too low, raised for PF4 and PF5. Surprisingly, we notice that the empirical  $(X_0)_{PF4}$  is very close to the theoretical one (as  $(X_0)_{PF4}=48\%$  and  $X_{0\text{ optimal}} = 55\%$ ).
- Finally, as an acceptable  $X_0$  approximation has been defined, the firm proceeds to the ARD effort balance. As  $R''_0$  is very low (0,22 vs 1,82) this suggests a great efficiency of ARD activity. It would be unprofitable to realize more ARD, as for  $X_F$  around  $X_0$  design rules

value decreases radically (see Figure 10). Model presentation and case-study analysis have stressed different results that we'll expose in next section.

### **Results: the relevance of a prepositioning strategy for platform renewal in High Technological Velocity Environments.**

This paper presents three main results based on our model insights. The first one is that in High-Technological Velocity Environments, platform renewal strategies based on S1 are inadequate for sustaining product roadmap. Moreover, combination of S1 and S2 (adaptation and anticipation) are relevant for design cost optimization but make no difference in term of technical competitive advantage in a context of both regular platform shift and high technological velocity. Finally, the combination of these two strategies enables a smooth and efficient transition from exploration to optimization for an optimal design rule stock, estimated by the ratio between research and development investments. Nevertheless, S1 and S2 don't afford any technical competitive advantage regarding design rules obsolescence.

The second result is the definition of a platform renewal strategy based on “*pre-positioning strategy*” that consists in updating design rules stock through a constant exploration of breakthrough technologies as one of the answer to gain technical autonomy. Whereas in low technological velocity designers and product managers are highly knowledgeable on future products and available technologies in order to optimize investments, as technological velocity increases, it induces to anticipate on future platform technologies and development in order to develop the platform for the market window aimed. As design rules are used for an efficient new platform design, so that the platform design is frozen as late as possible, “prepositioning” strategy helps to combine and decouple two types of performances expected from platform design in high technological velocity industries: platform investment optimization (Criteria 1) and technological exploration (Criteria 2).

The third result is the relevance of this model for empirical case-study analysis. It enables to draw platform renewal trajectories and enable strategic decision explanation. It shows that platform shift strategies are adapted over time to the technological span to be explored: low technological velocity can be based on platform redesign, medium technological velocity on anticipation, whereas high technological velocity requires a prepositioning through design rules updating. It appears that managing platform shift in high technological velocity industries requires coordinating efforts in product development, platform design and Advanced R&D. This has been illustrated in our model through the resources and investments allocation between these three activities which allow to discuss the trade-offs between these different activities.

### **Discussion**

We would like to introduce this discussion part by specifying the model regarding platform value (H1 and H2). H1 and H2 consisted in considering that platform value was independent from the strategy, which means in fact that taking advantage from platform design consists in an earlier platform release, or an adaptive and flexible platform design. Insights from our model show that at a first order it is considered that a high design rules stock level enables to design a valuable platform. Therefore we can consider that platform value follows design rules stock evolution, as if to say that platform value follows design rules cost production. Nevertheless, design rule stock value could have a higher value than the hypotheses formulated, this would show that ARD would be relevant even for higher design

rules stock level. Another point to be stressed is the estimation of design rules stock level and development cost undertaken for an optimal platform development. This suggests further works

The objective of this study was to explore the current state of literature concerning the concept of platform development and renewal process. Through a model and its application to a case-study we highlight a white spot stressed by Halman (Halman, Hofer et al. 2003) linked to platform renewal strategies and the evaluation of "several options for platform development that are useful in practice given a specific context". Therefore one of the contribution of this article is to specify and enrich platform renewal logics, by proposing to distinguish three activities D, R and ARD and specifying relevance domain for each of them. As underlined by Meyer "one of the more fundamental aspects of such renewal is comprised of the engineers hired and assigned to advance core technologies" (Meyer and Lopez 1995), this is particularly relevant for the different kind of platform renewal logics which suggest collective debates on different forms of coordination between several actors (Marketing, Advanced R&D, Manufacturing,...) in order to better estimate and propose metrics for design rule stock estimation and its evolution .

### **Managerial Implications**

The results presented suggest several managerial implications, firstly we can stress that one of the main identified challenge relies on depreciation rate ( $\delta$ ) estimation. A good representation of this parameter enables to make reliable trade-offs between ARD, R and D activities for PF renewal and therefore to shift easily from S1 to S2 and S3 and their time-depth. Moreover, whereas in anticipation platform scenario platform is frozen very soon in the design process, in pre-positioning strategy, the main objective is to settle new competences in charge of new design rule proposition that are generic over time and easily compatible with each other (in order to combine them). This implies a managerial recommendation based on design rule stock obsolescence estimation. This kind of assessment enable to evaluate R&D efforts for platform renewal at several generations and help to make projections on trade-offs between S1, S2 and S3 for platform renewal.

As it has been emphasized, one of the main issue regarding ARD activities is the value of the design rules produced. This aspect pleads for a second managerial implication for ARD activities showing that it has to embody both technical and market inputs for producing reliable design rules. More precisely, gathering market, technical and strategic inputs for ARD activities enable to produce generic design rules that are able to sustain platform development for several generations. Actually whereas some practitioner and academics insist on Advanced research autonomy preservation from market issues (in order to develop long-term technologies), this suggests a managerial implication based on strengthening the collaboration of Advanced R&D with its other partners (such as business units) and a project organization based on the exploration of breakthrough technologies linked to product roadmap so as to enhance platform design value.

## **Conclusion**

In this paper we explore a literature gap linked to platform renewal strategies in high technological velocity environments. In order to investigate this open-question, we formulate a model that synthetize three different strategies for platform renewal. Thanks to this model we have shown where platform renewal strategies based on anticipation and adaptation might be relevant in high-technological velocity environments. In the meantime, we demonstrated the limits of these two strategies regarding the issue of technical competitive advantage building strategies. This led us proposing a pre-positioning strategy based on design-rule stock renewal. Using our model we demonstrated that this kind of strategy outperforms anticipation and adaptation in HTVE situations (where firms have a low design rule stock level, and for a limited design rules set renewal) and define optimization conditions for this strategy, which consists in limiting its cost ( $R^0$ ) and increase time and scope genericity of the produced design rules. Therefore, platform shift strategies are adapted over time to the technological span to be explored: low technological velocity can be based on platform redesign, medium technological velocity on anticipation, whereas high technological velocity requires a prepositioning through design rules updating.

We illustrate the model interpretation through a case-study and show how it allow to give interpretations for firm platform renewal trajectories. Nevertheless generalization potential of this approach is, of course, limited by the fact that only one case-study has been presented and analyzed. Nevertheless, it is interesting to notice that this case-study give insights on platform renewal management in high-velocity environments. Further researches would consist in applying this framework and model to other field of studies, characterized as Low-Technological-Velocity environments (LTV) for analyzing insights on platform renewal strategies. In this first model, uncertainty is not taken into account which impacts scenario balance. Another perspective would be to introduce a utility function for each type of activity and would lead to appreciate uncertainty.

## **AKNOWLEDGEMENTS**

The authors thank STMicroelectronics Crolles, its Advanced R&D and Image sensor team for the insightful comments that they provided on this work. This work was supported by the ANR- Agence Nationale de la Recherche – “The French National Research Agency” (under the “Programme Entreprise”, project RITE ‘ANR-07-ENTR-011-RITE’) and CGS’s design chair “Theory and Methods for Innovative Design” (TMCI).

**References:**

- Arrow, K. J. (1962). "The Economic Implications of Learning by Doing." *The Review of Economic Studies* Vol. 29(No. 3): pp. 155-173.
- Baldwin, C. Y. and K. B. Clark (1997). "Managing in an age of Modularity." *Harvard Business Review* 75(5): 84-93.
- Bourgeois, L. J. I. and K. M. Eisenhardt (1987). "Strategic Decision Processes in Silicon Valley: The Anatomy of a "Living Dead"." *California Management Review* Vol. 30(N0 1).
- Bourgeois, L. J. I. and K. M. Eisenhardt (1988). "Strategic decision processes in high velocity environments: four cases in the microcomputer industry." *Management Science* Vol. 34(N0. 7).
- Cohen, W. M. and D. A. Levinthal (1989). "Innovation and Learning: The Two Faces of R & D." *the Economic Journal* 99(397): 569-596.
- Coudrain, P., P. Batude, et al. (2008). Setting up 3D Sequential Integration for Back-Illuminated CMOS Image Sensors with Highly Miniaturized Pixels with low temperature Fully Depleted SOI transistors. IEEE IEDM. San Francisco.
- Eisenhardt, K. M. (1989). "Making Fast Strategic Decisions in High-Velocity Environments." *Academy of Management Journal* Vol. 32((3)): pp. 543-576.
- Farrel, R. S. and T. W. Simpson (2003). "Product platform design to improve commonality in custom products." *Journal on Intelligent Manufacturing* Vol. 14: 541-556.
- Fine, C. H. (1998). "Clock Speed : Winning Industry Control in the Age of temporary Advantage".
- Fine, C. H. (2000). "The Clockspeed Chronicles." *Supply Chain Management Review* Vol. 4(Issue 2): pp.60-65.
- Gawer, A. and M. Cusumano (2007). A Strategy Toolkit For Platform Leader Wannabes. DRUID Summer Conference 2007. Copenhagen, CBS, Denmark.
- Halman, J. I. M., A. P. Hofer, et al. (2003). "Platform-Driven Development of Product Families: Linking Theory with Practice." *The Journal of Product Innovation Management* 20: 149-162.
- Hirschmann, W. B. (1964). "Profit From the Learning Curve." *Harvard Business Review* Vol. 42: pp. 235-255.
- ITRS (2007). International Technology Roadmap for Semiconductors edition 2007.
- Jaffard, J.-L. (2008). Image Sensor. DATE, Design Automation and Test in Europe. Munich.
- Jiao, J., W. S. Timothy, et al. (2007). "Product Family Design and Platform-Based Product Development : A State-of-the-Art review." *Journal of Intelligent Manufacturing* 18: pp. 5-29.
- Joskow, P. L. and N. L. Rose (1985). "The effects of technological change, experience, and environmental regulation on the construction cost of coal-burning generating units." *Rand Journal of Economics* Vol. 16(No. 1): pp. 1-27.



- Koyanagi, M. and T. Fukushima (2006). "Three-Dimensional Integration Technology Based on Wafer Bonding With Vertical Buried Interconnections." *IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES* 53(No. 11).
- Krishnan, V. and S. Gupta (2001). "Appropriateness and Impact of Platform-Based Product Development." *Management Science* 47: 52-68.
- Martin, M. V. and K. Ishii (2002). "Design for variety: Developing standardized and modularized product platform architectures." *Research in Engineering Design* 13(4): 213-235.
- Meyer, M. H. and D. Dalal (2002). "Managing platform architectures and manufacturing processes for nonassembled products." *The Journal of Product Innovation Management* 19: 277-293.
- Meyer, M. H. and A. Lehnerd (1997). *The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership*.
- Meyer, M. H. and L. E. Lopez (1995). "Technology Strategy in a Software Products Company." *Journal of Product Innovation Management* Vol. 12: pp. 294-306.
- Meyer, M. H. and P. Mugge (2001). "Make platform innovation drive enterprise growth." *Research Technology Management*: 25-39.
- Meyer, M. H., P. Tertzakian, et al. (1997). "Metrics for Managing Research and Development in the Context of the Product Family." *Management Science* 43(1): 88-111.
- Meyer, M. H. and J. M. Utterback (1993). "The product family and the dynamics of core capability." *Sloan Management Review* Vol. 40((2)): pp. 29-47.
- Moore, W. L., J. J. Louviere, et al. (1999). "Using Conjoint Analysis to Help Design Product Platforms." *The Journal of Product Innovation Management* 16: 27-39.
- Rapping, L. (1965). "Learning and World War II Production Functions." *Review of Economics and Statistics* Vol. 48: pp. 98-112.
- Robertson, D. and K. Ulrich (1998). "Planning for product platforms." *Sloan Management Review* 39(4): 19-31.
- Rosenberg, N. (1990). "Why do firms do basic research (with their own money)?"
- Sanderson, S. and M. Uzumeri (1994). "Managing product families: The case of the Sony Walkman." *Research Policy* 24: 761-782.
- Sawhney, M. S. (1998). "'Leveraged high-variety strategies: From portfolio thinking to platform thinking.'" *Journal of the Academy of Marketing Science* 26(1): 54-61.
- Simpson, T. W., J. R. A. Maier, et al. (2001). "Product platform design: method and application." *Research in Engineering Design* Vol. 13: pp. 2-22.
- Sundgren, N. (1999). "Introducing Interface Management in New Product Platform development." *Journal of Product Innovation Management* Vol. 16((1)): pp. 40-51.
- Ulrich, K. (1995). "The role of product architecture in the manufacturing firm." *Research Policy* 24: 419-440.
- Uzumeri, M. and S. Sanderson (1994). "A framework for model and product family competition." *Research Policy* 24: 583-607.
- V.Suntharalingam, R. Berger, et al. (2005). *Megapixel CMOS Image Sensor Fabricated in Three-Dimensional Integrated Circuit Technology*. ISSCC.





---

## ***Partie 2 - Chapitre 3***

---

*La Recherche Avancée et la propriété industrielle :  
C-K Invent, une méthode pour une capacité de  
conception de brevet en situation d'innovation  
radicale*

---

“Knowledge is power”  
Sir Francis Bacon (1561 - 1626)  
Traduction de  
“Scientia est potentia” in “Novum Organum”, 1620

---



## ***C-KINVENT, UNE METHODE POUR UNE CAPACITE DE CONCEPTION DE BREVET EN SITUATION D'INNOVATION RADICALE***

Dans les précédents chapitres, nous avons commencé à dresser une image de la recherche avancée autour de deux questions. La première est son positionnement vis-à-vis de l'écosystème de l'entreprise, son rapport aux réseaux et son rôle par rapport aux représentations classiques des transferts de connaissances. En effet, nous avons montré en quoi la recherche avancée qui a souvent été considérée comme une façon d'améliorer la capacité d'absorption de l'entreprise nous invite à distinguer deux formes de capacité d'absorption : la première épistémique, la seconde conceptuelle. Les activités de recherche avancée ont pour but d'augmenter le second type. Nous avons ensuite montré en quoi la R&D Avancée s'appuie sur une capacité à produire et concevoir des règles de conception pour instruire le renouvellement de plates-formes sur plusieurs générations. Notre effort de modélisation, nous permet d'insister sur son rôle qui est d'explorer des concepts génériques avec de faibles investissements.

A travers cette troisième partie, nous aimerions revenir sur un des attributs principal de cette recherche avancée qui est la gestion de la propriété industrielle ou, comment la R&D Avancée chargée d'explorer de nouvelles alternatives (dans le cadre de thématique « More than Moore ») est capable de proposer des portefeuilles de brevets robustes. Ceci soulève de nombreuses questions quant aux méthodes utilisées pour générer ces portefeuilles, les modes d'organisation mis en place et enfin les critères d'évaluation de brevets. Cette troisième partie fait l'objet d'une publication soumise à la conférence ICED – *International Conference on Engineering Design* 2011<sup>45</sup>.

En effet, le brevet est souvent vu comme un moyen de protéger des activités de conception déjà réalisées. Or dans le cas d'innovation de rupture, le brevet a pour objectif de protéger des voies d'exploration potentiellement sources de valeur. Le brevet devient donc un objet de conception pour lequel il s'agit de restaurer un langage de conception. Suite à la proposition d'une modélisation du contenu du brevet comme objet de conception, nous reviendrons sur un cas d'étude lié à l'intégration 3D, une thématique émergente dans l'industrie des semi-conducteurs. Nous montrerons comment l'utilisation de la théorie C-K dans ce contexte a permis entre les années 2008 et 2009 de développer de nouvelles capacités de conception de brevets sur la base d'une méthode que nous appellerons « C-K Invent ».

---

<sup>45</sup> Felk, Y., P. Le Masson, B. Weil, P. Cogez and A. Hatchuel (to be submitted 2011). Designing patent portfolio for disruptive innovation - A new methodology based on C-K Theory. International Conference On Engineering Design, ICED11, Technical University of Denmark.



# DESIGNING PATENT PORTFOLIO FOR DISRUPTIVE INNOVATION – A NEW METHODOLOGY BASED ON C-K THEORY

Yacine Felk<sup>1,2</sup>, Pascal Le Masson<sup>1</sup>, Benoit Weil<sup>1</sup>, Patrick Cogez<sup>2</sup>, Armand Hatchuel<sup>1</sup>

(1) CGS - center for management science, Mines Paristech, France

(2) Technology R&D, STMicroelectronics, Crolles, France

## ABSTRACT

In this paper we explore a key element of knowledge intensive innovation, the issue of patent generation. Whereas patent is often considered as a ‘by-product’ (output) of design activity, we focus on the situation of disruptive innovation, where recent studies in management of innovation have shown that patent is particularly crucial. Only few methods are based on patent modelling, they rely most of all on problem solving design reasoning. Nevertheless, these are not adapted to disruptive innovation where both creativity and problem solving are mandatory. Looking at this situation as an issue of portfolio design provides a useful heuristic for management insights of a “design for patentability” approach. Our contribution is defined in two parts, first a patent model and second, a process of patent generation. We propose to model patent information as an (Action, Knowledge, Effect) triplet. In disruptive situations, all three elements (A, K, E) are unknown. Based on this modelling, we show through an illustrative case how a team in charge of disruptive innovation exploration proposed several (A, K, E) triplets. This work suggests a method “C-K Invent” derived from C-K design theory.

*Keywords: Patent, C-K theory, Industrial Property, Disruptive technology, Design Teams*

## 1 INTRODUCTION

Throughout the history of technology-based enterprise, patents have played a key role in technology diffusion. For industries based on intensive and rapid innovation, such as the semiconductor industry, it is generally accepted that given the rapid pace of technological change and high level of capital expenditures for product design, patents are a critical issue. For rule-based innovative design fields, where innovations are based on incremental approaches, patents can be considered as a problem-solving issue. In stark contrast, for disruptive innovative design fields, patents are considered both as knowledge production issue and as creative process.

There is a lacuna in the literature with regards to disruptive technology, and for this reason we decided to explore, via a case study (and with experiments), the issue linked to patent and disruptive innovation in the semiconductor industry. Through modeling and an empirical study we highlight two points. The first is that patent information can be interpreted as an Action (A), Effect (E), Knowledge (K) triplet. Second, the application of the (A, E, K) model via empirical experimentation conducted in the semiconductor industry, we show how a design team in charge of a disruptive innovative design field was able to provide a method for structuring the process of patent portfolio proposition.

In the following, section 1 will review the existing literature on patent evaluation and IP design strategies, which suggest several research questions regarding patent proposition in disruptive innovation situations. In section 2, we present the research setting and our methodology. The patent information modeling and experimental case is presented in section 3 following on from this, we turn to the analysis and discussion before drawing out conclusions on our findings and possible next steps.

## 2 LITERATURE REVIEW

### 2.1 Patent Evaluation: where do patents come from? What are they for?

A patent is a document, issued by a governmental authority such as the National Institute for Industrial Property in France (INPI) or the European Patent Office (EPO) which gives a set of exclusive rights to an inventor or their assignee for a limited period of time in exchange for a public disclosure of an



invention. The grant is issued to the inventor of this device or process after an examination that focuses on both the novelty of the claimed item, its inventive steps and its potential utility. Articles 52 and 53 of the European Patent Convention (EPC) [1] stipulate that an invention must be “novel, non-obvious, and have utility”. Novelty refers to the fact that you can’t patent something that is already known (or has been published). “Non-obvious” means that the invention could not have been conceived by someone “having ordinary skill in the art” without undue experimentation. “Utility” says that an invention must perform some function, be operable, and must be beneficial to society. The right embedded in the patent can be assigned by the inventor to somebody else, usually to his employer, a corporation, and/or sold to or licensed for use by somebody else. This right can be enforced only by the potential threat of or an actual suit in the courts. The stated purpose of the patent system is to encourage invention and technical progress both by providing a temporary monopoly for the inventor and by forcing the early disclosure of the information necessary for the production of this item or the operation of the new process.

The literature emphasizes on the value of the rights afforded by patents. Patents are often considered as an option where *patent thickets* [2] allow the ability to maintain an option within a particular area of technological exploitation. Patent thickets can be used for several industrial or commercial purposes [3] such as invention protection, blocking or sleeping patents or licensing and cross-licensing. Given the importance of patents, and their licensing, to innovation in several firms in the area of information technology, the semiconductor industry can be shown to have adopted an aggressive licensing strategy since the 1980s. For example, IBM’s revenues from patent licensing increased from \$646Million to \$1.5Billion in a five-year period (between 1995 and 2000) [4]. Moreover patent information allows conclusions about a firm’s patent activity [5] and the quality of its patent portfolio. Literature has often suggested several metrics for patent evaluation, particularly for measuring the quality of a patent or a group of patents [5]: ratio between granted and filed patents, international scope [6], technological scope [7], and citation frequency [8].

Therefore patent is considered as a ‘by-product’ design activity, where they are defined when products are almost designed. In that sense they can be a measure of R&D output since it can be used as an indication of activities [9] that may lead to marketable technologies (and also may indicate changes to the specific rate of technological change). It is generally accepted that patents contain important information for technology management, which enables a precise competitor analysis [10]. This information is particularly interesting for the evaluation of a firm’s innovative potential and mapping of technological trajectories [11] [12]. All these metrics suggest that patents are the outcome of a design activity but this is mostly equated to a metric of R&D activity output. In these cases, patents allow the innovator the ability to acquire value by protecting an already completed design activity (such as from the results of technology research results or from prototyping). If we look more into the details of the processes through which patents are created, there are classical bottom-up approaches (where patents are R&D results) or top-down approaches (where patents are considered as an objective assigned to researchers and scientist).

Nevertheless there is a third situation where there is a need to protect expected value from an emerging technological field. In this case which could be qualified as a “disruptive innovation”, strong patent portfolio are needed. Lindsay and Hopkins through an experience at Kimberly-Clark company emphasize the fact that “one aspect that has not received much attention previously is the role of intellectual assets” [13], and give some recommendations about what should be done for generating and drafting Intellectual Assets. For the case of disruptive technologies they advocate that design teams “prepare for future new and disruptive business opportunities that could be protected or strengthened by the intellectual asset generated”. They insist on the organization (what they call IA groups), what should be protected (products, what to be aware of (mostly emerging technologies), and to be aware of disruptive technologies impact on IA strategy. More recently, Nissing [14] describes an approach called “strategic inventing”, whereby products are designed with an emphasis on strategic positioning of intellectual property. Nevertheless any method is proposed, this “obscure approach” enables inventors to determine where significant patentable opportunities exist (based on the art and invention creation in a specific field, focusing on market differentiation that may be leveraged for competitive advantage). Therefore we can ask ourselves, what happens when patents should be granted before design activity or a research work? How to protect an emerging design field with appropriated patents? In this kind of situations patents become a design object or a purpose of design.

## 2.2 Designing patents: which model, which process?

Therefore, disruptive innovation situation involves patent design as an object. Therefore, if portfolio patent should be designed, what could be a model of this object? In a first step, we tried to identify research works in the field of design, so as to analyze the contributions of practitioners and academics we looked at peer reviewed journals in the discipline of engineering design (e.g: Journal of Engineering Design or Research in Engineering design). Through our literature review in this academic field we couldn't find a complete conceptualization of patent information or patent interpretation as a design object. Nonetheless we present in this section three models, the first one is a formal model of what can be a "design language" that is object oriented. The second and third one are two patent model conceptualization.

If patent is an object of design, therefore we should rely on a design theory and a model of what should be designed. According to design theory, one of the models that can be used is the FBS (Function – Behaviour – Structure) [15] [16] model. With this model designing an artifact involves a series of elementary steps which 'transform', first the desired function of the artifact (roughly its purpose) into its expected behavior (which will bring about the function); then the expected behavior into a structure (intended to enable the artifact to exhibit the expected behavior). After further steps of analyzing the structure for its actual behavior (evaluating it against the expected behavior, and possibly reformulating the expected behavior) the structure is finally transformed into a design description. Therefore, when considering disruptive innovation situations, for which patents can be prior to design activity, this suggests several questions about the language to adopt for patent description and patent modeling: what can be an equivalent of F-B-S model for patents?

Regarding patent information conceptualization, one approach proposed in the literature is TRIZ, the acronym for 'Theory of Inventive Problem Solving' which is based on contradiction solving. Based on the analysis of more than 400000 patents data, Altshuller [17] proposed that any technical problem could be generalized and abstracted by a surprising small number of generic inventive principles and patterns. TRIZ has been used in a lot of ways to describe 'reverse inventing' processes [18], explains design processes and design alternatives or product DNA [19].

Therefore TRIZ is based on the identification of (Contradiction / Solution principles) couples. In case of disruptive innovation, this model suggests several limitations. One limitation is that TRIZ proposes a problem solving method and process when problems have already been defined, which is not the case for open-ended situations where exploration and potential exploitation avenues are unknown, the situation for disruptive technologies. For disruptive technologies, this leads to the questions; what are the problems to be solved? For what kind of opportunities? TRIZ and derived methods, such as Advanced Systematic Inventive Thinking (ASIT) do not provide answers to these kind of questions, particularly so for "out-of-the-box" approaches and methods [20]. Thus, the literature has provided little contributions on patents as a design object.

We found a third model, which proposes an interpretation of patent information using design theory [21] [22]. This theoretical work dealing with patent process improvement [23] proposes to decompose patent information and to model it in three data classes: Actions, Effects, Knowledge. This work is based on research study made by Couble and Devillers [23] at CEA (the "Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives"), a French government-funded technological research organization and has been used by Sincholle [24] in his research study at THALES (which is a world leader in mission-critical information systems for defence and security, aerospace and transportation). Patent are represented as a "sentence" that describes a recipe where Actions represent the interventions made on objects and their interrelations, Effects (internal or external) are action consequences and Knowledge is the set of technical information used by the invention. Patent grant criteria can therefore be read in a new way:

- Novelty: Implies that the 'A → E' sentence doesn't already exists in K.
- Invention Step: Means that the set of 'A → E' sentences might be included in K without expert identification.

- Embodiment: Suggests that (A, E, K) triplet must be understandable and repeatable by technical experts.

With this (A, E, K) model, TRIZ model based on (Contradiction / Solution Principle) can be interpreted as the solution of two contradictory effect combination ( $E_i \times E_j$  / Actions that enable to get  $E_i \times E_j$ ). Solution Principle therefore is a combination of Actions that enable to get both these two effects ( $E_i \times E_j$ )

### 2.3 Research questions

Therefore we presented the literature position regarding the patent proposal issue, In case of disruptive innovation this (plus the identified lacunae earlier in this section) suggest several research questions regarding patent generation and definition:

**Q1:** How to model patent information and what “object language” (representations) to use in case of disruptive innovation situation for patent design?

**Q2:** Based on this patent model, what could be a process that enables to generate, discuss and propose strong patent portfolios?

## 3 METHODOLOGY

Our methodology is an experimental approach based on a patent model. We first propose to model patent information and to conceptualize a patent as a design object. Building on this conceptualization and model, we conducted an empirical study of what is termed the “Advanced R&D” team at STMicroelectronics (the European leader of semiconductor industry). We worked with this design team in charge of exploring several new disruptive technologies for a deep and rich empirical case study. Among this team’s work we focused on a specific item called “3D-Integration” (which consists merely in stacking several semiconductor devices with new interconnections). Whereas traditional approach in semiconductor industry is based on planar technologies [25], this team is in charge of developing technological blocks enabling to stack several devices. Our aim was to analyze the process through which this design team is able to propose patents in case of disruptive innovations.

## 4 MODELIZATION AND INSIGHTS FROM EXPERIENCE

### 4.1 Modelling Patent information as a design purpose

C-K theory is a design theory that offers a formal model of creative thinking where design is a goal oriented activity, with a concept-knowledge dual expansion in case of disruptive innovation [21]. One of the application of this formalism to patent evaluation issue was proposed by Sincholle [24]. His research work consists in evaluating patent positions through design reasoning by identifying new business opportunities using what he defines as a “generative concept”. Patents content describes a solution to a technical problem, this is represented within the C-K [21] framework shown in Figure 1.

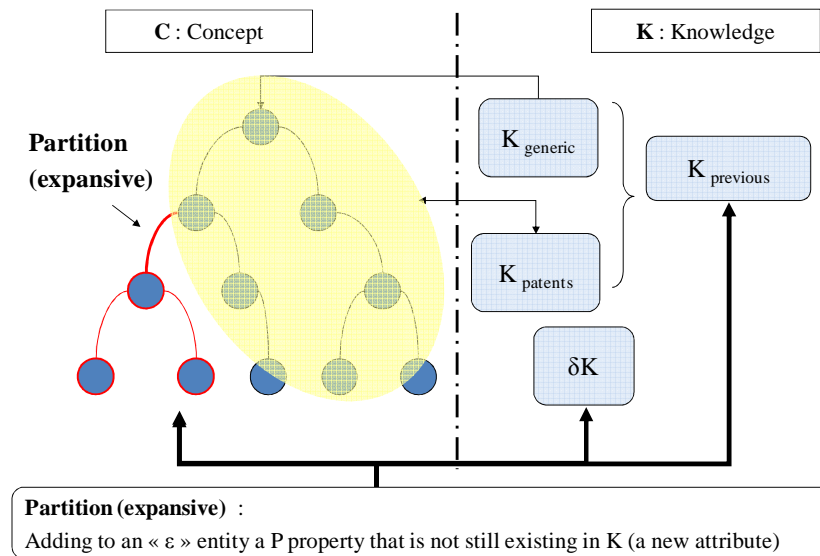


Figure 1: Inventive step within C-K theory [23]

The (A, E, K) model helps to distinguish several patent proposal situations; we present some of them in Table 1. To take an example, for the case of “Research” in the table, if the aim is to reduce the ‘skin effect’ (a physical phenomena that reduces interconnection conductivity) within electrical interconnection in Integrated Circuits, Action (e.g working on materials or device structure) and expected Effect (skin effect reduction) are already known. Therefore, what has to be produced is the Knowledge. For the case of “Technology” in the table, we can take the MEMS (Micro-Electro Mechanical Systems, which is the technology of very small mechanical devices driven by electricity also referred to as micro-machines) example, where the Action and the Knowledge classes are already defined (use of semiconductor substrate with etching, thin-film processes) but what has to be specified are the Effects that are explored and the functionalities aimed (e.g: accelerometer, gyroscope, etc...). One particular aspect considering disruptive innovation is that every element of the (A, E, K) triplet is unknown, which is consistent with the fact that in innovative design situations a  $C_0$  is necessarily an expansive partition [22].

Table 1: Patent ideas typology within (A, E, K) framework

	A	E	K
Research	Known	Known	Unknown
Technology	Known	Unknown	Known
Disruption	Unknown	Unknown	Unknown

## 4.2 Towards a C-K based method through a case-study

In this section we will illustrate how using innovation design theory (C-K Theory) and the (A, E, K) model, a design team was able to derive a methodology for patent portfolio proposition. We will show that in case of disruptive technology situations classical tools based on (*Convergence Divergence*) process would have been insufficient.

### 4.2.1 Usual Process for patent idea generation and evaluation

At STMicroelectronics, IP (Intellectual Property) activity is aligned with the “historical” practices, used for business and value protection and its customers. This activity covers all of STMicroelectronics’ R&D activities and product business units (with a particular attention for key strategic sectors) with the goal of maintaining a portfolio patent with more than 20000 patents and 500 to 800 patents pending per year [26]. Patents are obtained in several fields such as circuit design, manufacturing processes, packaging technology and system applications.

During our case exploration, we couldn't find a systematic or repeatable process for patent idea generation and identification; nevertheless we identified several methods that are used in particular situations. Often enough, patents are considered as research or experiments result, where patent are the results of new phenomenon discovery. A second way for patent ideas generation is a serendipital fuzzy process which happens during coffee breaks or lunches. A third way that is used is conventional brainstorming [27], and some further elaborated versions of this techniques such as C-Sketch / 6-3-5 Method [28], that are used by workgroups to solve a technical problem. Moreover, contrary to early phases of idea identification, the evaluation process is well documented and well-established. Actually each idea is evaluated through a specific process during patent committees which consists in evaluating ideas regarding several criteria including the patentability ones (novelty, inventiveness and embodiment). These committees are specific meetings where ideas are both evaluated, enhanced and perspectives for developing opportunities are identified (such as prototypes or collaborative projects).

#### 4.2.2 What happens in case of disruptive technologies?

Advanced R&D in STMicroelectronics since 2006 is in charge of exploration of new design space such as "3D Integration" [29] which take as a disruptive technology as it introduces new types of processes. To give an example "bonding" by itself is not a new process, but at nm scale it requires considerable control of material quality and surface properties for good bonding energies, therefore new technologies have been developed such as "oxide-oxide" bonding [30] (and it is the same for "drilling" process, "etching", "alignment", etc...) [31] and new types of interconnections (called TSV for 'Through Silicon Via'). This new concept suggested several questions: what could be the applications that use this new approach? What are the technologies that should be developed? What kind of patents should be proposed? Should we consider that once a technological block is developed, all the application using this block should be patented? In section 2.3, we've shown that it is particularly difficult to know what should be patented when both (A, K, E) are unknown? In the following we present what this design team proposed to get out of this kind of situation.

#### 4.2.3 What approach could be expected for patent proposition?

A first attempt consisted in defining device architectures enabled by a new approach such as "3D Integration". This approach led the design team to explore what could be the different means to design a functional product (P<sub>i</sub>) connecting components (C<sub>i</sub>) (with functional faces) made of planar technologies. This allowed them to propose several product architectures. The main output of this first brainstorming session was the identification of several architectures enabled by "3D-Integration" approach, depending on active (or functional) face positioning (Backside or Frontside) and embodiment of interconnection through substrate called TSV (for Through Silicon Via) realised by etching or drilling processes steps

Unfortunately, this first approach didn't help to identify architecture value, but suggested several further questions: which architecture should be patented (and which not)? Based on what kind of criterion? For which value?

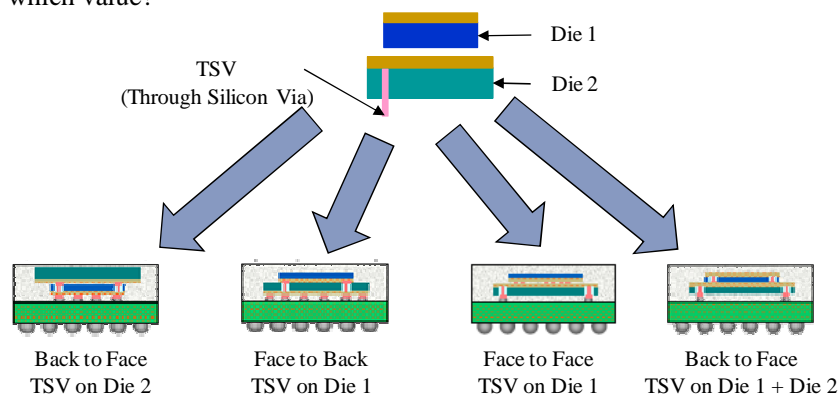


Figure 3: Device architectures as a C-K model output

In fact, we can imagine that *a priori*, any product architecture exploiting 3D Integration enabling technologies such as Through Silicon Via (TSV) should be patented (this suggests that there are plenty of potential patents). In this case, this patent strategy would be very expensive, but on the other hand if

we use patent grant number as a performance metric for R&D activity, it could be very positive (whereas the design team would have no idea about application value). Moreover, if we use the (A, E, K) Model for patent interpretation, ‘3D Integration’ is a concept where A, E and K are actually unknown. Indeed, the design team at the beginning was not able to describe A classes (should TSV be done before or after bonding?), neither E classes (what about electrical performances? What about thermal behaviour?) and K ( what knowledge should be produced ? Which issue should be highlighted?). Notwithstanding this first draft underlined the necessity to uncouple two main issues, on the one hand technology assembly introduction in semiconductor processes, in the other hand the design of interconnection for electrical signals through semiconductor substrate. We will describe in next section what the research team proposed as a method in order to build a patent corpus (or patent portfolio).

#### 4.2.4 Insights from a case-study: patents portfolio for disruptive technologies

In this section, we will describe the process followed by the research team, distinguishing three steps.

##### Step 1:

As described previously, the first concept based on architectures didn’t help to define 3D-Integration value as every technological pieces are already defined (embodiment, technological blocks, functions). Therefore, first step consists in introducing some new words that enable to explore new design space. These proto-words help to structure Knowledge space (in a C-K model). An example of this first step was the definition of “TXV” as an interconnection between devices rather than TSV (Through Silicon Via) which is already defined as an electrical interconnection.

Table 2: A-E-K model for “TSV” and “TXV”

	TSV	→	TXV
<b>Effect</b>	Electrical interconnection		Different flow management (electrical, thermal, mechanical)
<b>Actions</b>	Defined (processes, shape)		New processes, new architectures
<b>Knowledge</b>	Electrical behavior (R, L, C, G)		Partly unknown, (Electrical, thermal conductivity/Dissipation)

Actually TXV are sufficiently generic to consider any type of substrate and ways of interconnecting devices through this substrate. It enables to add several passive (e.g: thermal management) or active functions to the ‘via’ device. This new word allowed some further investigations and expansions in A, E and K. Two elements are important at this step, the first one is that by adding abstraction to already defined devices help to enrich their meaning. The second one is that the use of these “emerging words” help to build a common meaning for the concepts explored shared between designers and researchers of the Advanced R&D team.

##### Step 2:

Second step was to propose some concepts based on (A, K, E) model and interpretation such as: “Design TXV that have better electrical and thermal behaviour than 2D alternatives”. In this kind of concept the first part describes A (Action) which consists in realizing Via (drilling, etching, etc...) through a generic substrate (X which can be Silicon or any type of substrate such as AsGa, ...). The second part of the concept describes the E (Effects) that are expected from device behaviour (electrical, thermal, etc...). This definition of (A, E) first high-concepts enable to structure design space exploration and the use of C-K models for new idea identification. With these first concepts, the Advanced R&D design team organized different workshops for ideas production and knowledge production stimulation, as C-K theory is a design theory that offers a formal model of creative thinking.

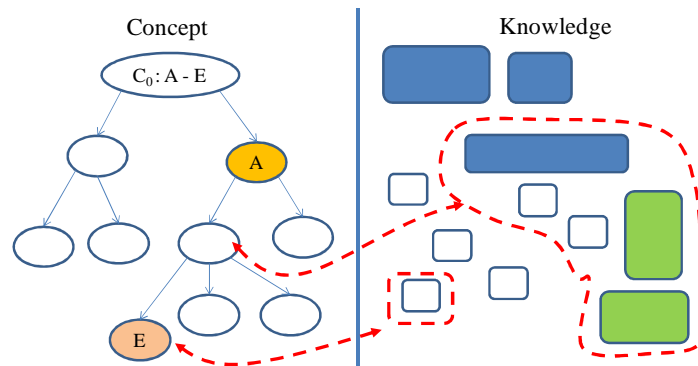


Figure 4: C-K Models based on A, K, E

Once the ideas have been identified, their classification in matrices (such as Zwicky matrices or morphological box) [32] [33] enables to visualize the design space paved and filled with ideas and potential patents.

**Step 3:**

As we've presented it, idea evaluation follows a specific process, based on established organisations, tools and rules. Using an A-E Matrix this enables an interpretation of the design field that has been paved and why some ideas remain at the Idea step whereas some others progress further and are proposed as patents. We present in the Figure below an A-E matrix (similar to a Zwicky matrix) that supports a description of the design space paved (we differentiate in this matrix A-E box that represent state-of-the-art, from those which were ideas and those that remained concepts). In the table 2 below we represent the matrix regarding the alignment device issue, which is one of the key assembly technologies to be solved for 3D-Integration [34]: three items which are "Mobility", "Precision measurement" and "Localized Force" are considered for the effects (E) and for Actions several physical phenomena are taken into account. In this A-E matrix research team distinguished four types of (Ai, Ej) couples. The first one are those which remained concepts C (they couldn't propose any idea linked to this concept), second ones are the ideas I formulated. The third one are the solutions existing in the state of the art S, and last ones are ideas that became patent proposition after an evaluation

Table 3: From ideas to patents in a Morphological Matrix view

Morphological Matrix: Device Alignment issue								
		Action						
		Magnetic Field	Electro-chemical	Fluidic	Vibration	Mechanic	Electro-static	Optic
Effect	Mobility (X, Y)	I6	I5	I3	I4	S2	C	C
	Precision Measure	P3	C	C	I1	P1	P2	E1
	Localized Force	P5	I2	S4	C	S3	P4	C

C	Concept	I	Idea	S	State of the art	P	Patent
---	---------	---	------	---	------------------	---	--------

If we take as an example the alignment issue, looking closely at the (A, E) couple – (Fluidic, Mobility), from this concept (C) the design team was able to propose an idea (I) based on electro-wetting technology exploitation. This idea, presented in the figure 5 consisted in using a drop as a conveyor for several devices, enabling die placement. This idea is based on the exploitation of electro-wetting technologies. This kind of solution remained at the Idea (I3) level, because of description insufficiency of the embodiment criteria, the device sizing and drop specification (fluid type, dimensions and properties).

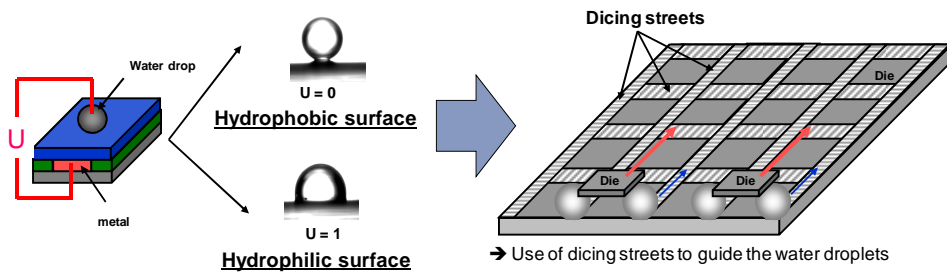


Figure 5: An idea example at Concept level (Drop use for die placement)

## 5 C-K INVENT: TOWARDS A METHODOLOGY FOR PATENT PROPOSAL

From this case-study in the semi-conductor industry, we outlined a methodology that enables the design of robust patent portfolios for disruptive technologies. The method “C-K Invent” is composed of two phases.

The first phase focuses on organizing and building the conceptual phase, with a first step which aims at defining (A-E) high-level concepts. These kind of “generative concepts” [24] help to enlarge the design space and identify a wide range of opportunities for a specific issue (therefore to organizing the exploration process). As we have seen, through the case study, words such as TXV are sufficiently generic to consider any type of substrate and ways of interconnecting devices through this substrate. One of the main important element of this step is the use of “emerging words” that we can qualify as a “proto-semantics” [35] that help to build a common meaning for the concepts explored shared between designers and researchers of the Advanced R&D team. These concepts facilitate the definition of specifications in terms of A (Actions) and E (Effects) expected from the designed objects. These “proto”-words have two interesting effects: the first one is that they induce commitment of each part of the design team around common objects, the second one is that it enriches their content (the main aspect to be highlighted is that with more abstraction it enables the exploration of new sides of these concepts). Thanks to these proto-words, designers are able to build a “proto”-syntax that will allow to build “A-E” sentences for patent information description.

The second step consists in structuring the exploratory design space using C-K Models, this kind of representation rediscusses design reasoning, and distinguishes the creative process from the knowledge process production. The third step consists in using morphological matrices [32] in order to clarify what are the ideas that are potential patents from design alternatives that are emerging concepts. This kind of representation enables to map out the design space that is paved by the design team in comparison with what is explored in the ecosystem (competitors, laboratories, universities, start-ups, etc...). The second phase is made of one specific step, which consists in evaluating each identified idea through the patent committee screening process.

Table 4: TRIZ and C-K Invent methods comparison

	TRIZ	C-K Invent
<b>Model</b>	(Contradiction / Solution principle)	(A-E-K)
<b>Process</b>	$(E_i \times E_j) \rightarrow P_k$	$(E_i \times A_j) \rightarrow (\delta E, \delta A, \delta K)$
<b>Design reasoning</b>	Problem Solving	Expansion



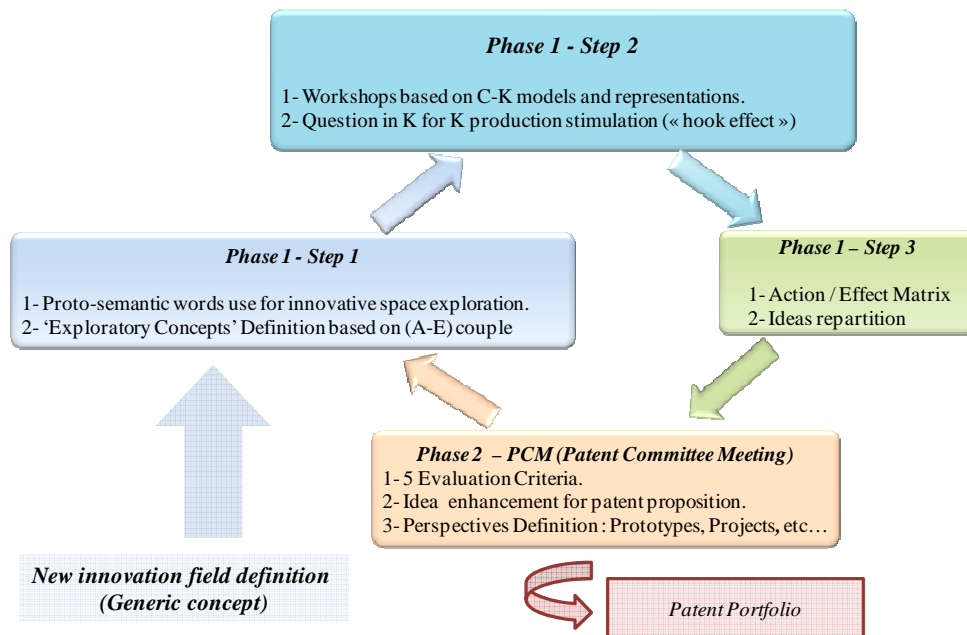


Figure 6: C-K Invent as a method in 2 Phases and 4 steps

## 6 RESULTS AND DISCUSSION

This paper examines the patent nature that can be proposed in case of disruptive technology. Whereas patent is often considered as a ‘by-product’ (output) of design activity, we focus on the situation of disruptive innovation, where recent studies in management of innovation have shown that industrial property and patent is particularly crucial. We thus provide insights of a method for a “Design for patentability” approach. One of the direct results is that thanks to this approach the Advanced R&D team was able to propose several invention disclosures in 2009 which represents more or less 10,5% of invention disclosures proposed by Technology R&D organization (which is the central R&D in charge of platform development). Moreover, feedback from this experience has been shared by the “3D & Derivatives” project manager among technical experts during specific workshops at STMicroelectronics Crolles site. The main discussions dealt with the method extension and how it could be applied to other technological fields.

What is striking with this method is that on the contrary to classical methods “C-K Invent” appears counterintuitive for three reasons:

- First, a patent is usually considered as a technical solution for a technical problem. In the meantime, the main idea developed was to begin with a technical solution (3D-Integration) in our case-study, before defining the issues addressed. Therefore one of the main incentives of this method is not to propose the solutions but to highlight the issues raised by a new concept.
- Second, the method proposes a process that is at the opposite end of the scale from “serendipity”. Here, it is a collective design process which aims at organizing the exploration of innovative design space. Coming back on the design reasoning it enables to decline a long (A/E) chain that stimulates knowledge production. Using A/E matrices helps to define the design space paved and what are the (A,E) couple that still remain as concepts.
- Third, this process aims to propose robust patents portfolios, positioning each alternatives among the others. This enable to propose wide-scope patents deeply linked to concept exploration.

Table 5: Patent typology for Rule-based and disruptive innovation situations

Situation	Rule-based Design	Disruptive Innovation
Model	Object	A-E-K
Patent Information	Solving : $K_i \times K_j$	Exploration of $C_0$ : (A-E)
Industrial Property Strategy	Protection / Anticipation	Description Sufficiency / Design Space Paving

In conclusion, the use of C-K enables us to challenge design team member in terms of innovative design, with expansive partition proposition. This suggests several open questions for further research: What is the best way of applying this kind of methodology? Should it be internal or external to R&D teams? Is it applicable for problem solving fields? What is the best mean for this method application?

### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank STMicroelectronics Crolles, its Advanced R&D and “3D Integration and Derivatives” team for the insightful comments that they provided on this work and “C-K Invent” Method. This work was supported by the ANR- Agence Nationale de la Recherche – “The French National Research Agency” (under the “Programme Entreprise”, project RITE ‘ANR-07-ENTR-011-RITE’) and CGS’s design chair “Theory and Methods for Innovative Design” (TMCI).

### REFERENCES

- [1] EPC, *European Patent Convention*. 2007, European Patent Office.
- [2] Shapiro, C., "Navigating the Patent Thicket: Cross-Licenses, Patent, Pools, and Standard Setting,". *Innovation Policy and the Economy*, 2001. Vol. 1: p. 17 pages.
- [3] PatVal-EUproject, *The value of european patents : evidence from a survey of european inventors.*, in *Final Report of the Pat-Val-EU Project*, D. Science&Technology, Editor. 2005, Contract HPV2-CT-2001-00013: Brussels. p. 60.
- [4] Hall, B.H. and R.H. Ziedonis. *An Empirical Analysis of Patent Litigation in the Semiconductor Industry*. in *American Economic Association annual meeting*. 2007. Chicago.
- [5] Fabry, B., et al., *Patent portfolio analysis as a useful tool for identifying R&D and business opportunities—an empirical application in the nutrition and health industry*. *World Patent Information*, 2005. Vol. 28: p. pp. 215 - 225.
- [6] Lerner, J., *The Importance of Patent Scope: An Empirical Analysis*. *The RAND Journal of Economics*, 1994. Vol. 25(No. 2): p. pp. 319 - 333.
- [7] Hall, B.H., A. Jaffe, and M. Trajtenberg, *Market value and patent citations: A First Look*. *Economics Working Papers 2001(No. E00-277)*: p. University of California at Berkeley.
- [8] Mariani, M. and M. Romanelli, *Stacking and picking inventions: The patenting behavior of European inventors*. *Research Policy*, 2007. Vol. 36: p. pp. 1128 - 1142.
- [9] Griliches, Z., *Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey*. *Journal of Economic Literature*, 1990. Vol. 28(No. 4): p. pp. 1661 - 1707.
- [10] Ernst, H., *Patent information for strategic technology management*. *World Patent Information*, 2003. Vol. 25: p. pp. 233–242.
- [11] Verspagen, B., *Mapping Technological Trajectories as patent citation networks: a study on the history of fuel cell research*. *Advances in Complex Systems*, 2007. Vol. 10(No. 1): p. pp. 93-115.
- [12] D. K. R. Robinson , et al., *Forecasting Innovation Pathways (FIP) for New & Emerging Science & Technologies*. Submitted to *Technological Forecasting and Social Change.*, (Submitted 2010)
- [13] Lindsay, J. and M. Hopkins, *From experience: Disruptive Innovation and the Need for Disruptive Intellectual Asset Strategy*. *Journal of Product Innovation Management*, 2010. Vol. 27: p. pp. 283 - 290.

- [14] Nissing, N., *Strategic Inventing, In a war of patents, choose your own battleground*. Research Technology Management, 2005. **Vol. 48**(No. 3): p. pp. 17-22.
- [15] Gero, J.S., *Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design*. AI Magazine, 1990. Vol. 11(No. 4): p. pp. 26 - 36.
- [16] Gero, J.S. and U. Kannengiesser, *The situated function-behaviour- structure framework*. Design Studies, 2004. 25: p. pp. 373 - 391.
- [17] Altshuller, G., *Creativity As an Exact Science : The Theory of the Solution of Inventive Problem Solving*. Gordon & Breach Science Publishers. 1984, New York.
- [18] Glaser, M. and B. Miecznik, *TRIZ for Reverse Inventing in Market Research: A Case Study from WITTENSTEIN AG, Identifying New Areas of Application of a Core Technology*. Creativity and Innovation Management, 2009. Vol. 18(No. 2).
- [19] Dewulf, S., *Directed variation: variation of properties for new or improved function product DNA, a base for 'connect and develop'*. [http://www.creax.com/mailling/2006\\_11/Final-ETRIA.pdf](http://www.creax.com/mailling/2006_11/Final-ETRIA.pdf), 2006.
- [20] Reich, Y., et al., *A theoretical analysis of creativity methods in engineering design: casting and improving ASIT within C-K theory* Journal of Engineering Design, 2010: p. pp. 1466-1837.
- [21] Hatchuel, A. and B. Weil. *A new approach of innovative design: An introduction to C-K Theory*. in *International Conference on Engineering Design (ICED)*. 2003. Stockholm.
- [22] Hatchuel, A. and B. Weil, *C-K design theory: an advanced formulation*. Research in Engineering Design, 2009. 19: p. 181-192.
- [23] Couble, Y. and D. Devillers, *Une approche innovante du processus de rédaction de brevet*, in *Ecole des Mines de Paris*. 2006.
- [24] Sincholle, V., « *De la gestion des brevets d'inventions au pilotage de l'innovation : Le cas d'un centre de recherche de haute technologie* », in *Economie et Sciences Sociales*. 2009, Ecole Polytechnique: Paris. p. 265.
- [25] Hoerni, J., *Method of Manufacturing Semiconductor Devices*. 1959: US patent.
- [26] STMicroelectronics NV (STM), *Form 20-F, Annual and transition report of foreign private issuers pursuant to sections 13 or 15(d)*, 2010, <http://investors.st.com/phoenix.zhtml?c=111941&p=irol-reportsannual>
- [27] Goldenberg, J. and D. Mazursky, *Creativity in product innovation*. 2002: Cambridge university press.
- [28] Bohm, M.R., J.P. Vucovich, and R.B. Stone. *Capturing creativity: using a design repository to drive concept innovation*. in *DETC 2005*. 2005. Long Beach, California.
- [29] Yole Development., *3D Integration Infrastructure & Market Status*. 2010: Semicon Taiwan
- [30] Di Cioccio, L., et al. *Direct bonding for wafer level 3D integration in ICICDT, IEEE International Conference on IC Design and Technology* 2010.
- [31] Garrou, P., C. Bower, and P. Ramm, *Handbook of 3D Integration: Technology and Applications of 3D Integrated Circuits*, ed. Wiley. 2008. 798 pages.
- [32] Zwicky, F. *New Methods of Thought and Procedure*. in *Contributions to the Symposium on Methodologies*. 1967. Pasadena.
- [33] Zeiler, W. and P. Savanovic. *Morphology: a Tool for Design and Analysis of Design* in *International Conference on Engineering Design, ICED*. 2009. Stanford University.
- [34] N.Sillon, et al. *Enabling technologies for 3D integration: From packaging miniaturization to advanced stacked ICs*. in *International Electron Devices Meeting, IEDM*. 2008. San Francisco.
- [35] Wildgen, W. *La reconstruction d'une proto-sémantique et d'une proto-pragmatique des langues humaines*. in *Séminaire Des langues au langage : modèles et théories à l'épreuve des faits*. 2004. Ecole Normale Supérieure Paris.

**- Partie 3 -**



---

# ***Partie 3- Chapitre 1***

---

*Monographies d'Activités de recherche*

-  
*Relecture d'une trajectoire : l'intégration 3D (de 2007 à 2010)*

---

« Ils ne savaient pas que c'était impossible, alors ils l'ont fait »  
(Mark Twain)

---



# Table des Matières

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>192</b>
<b>2</b>	<b>L' « intégration 3D » : une alternative à l'essoufflement de la loi de Moore ? .....</b>	<b>193</b>
2.1	L'essoufflement de la loi de Moore .....	193
2.1.1	Des éléments économiques .....	193
2.1.2	Les limites technologiques & physiques de l'intégration 2D .....	194
2.2	La superposition des composants : une alternative pour la co-intégration .....	195
2.2.1	Les intérêts de l'intégration 3D en 2007.....	196
2.3	L'intégration 3D : certains rendez-vous manqués .....	197
2.3.1	Un concept qui date des années 70 .....	197
2.3.2	Des conditions non-réunies pour l'exploration de ce type d'alternative ?.....	198
<b>3</b>	<b>Non pas une intégration 3D mais des intégrations 3D.....</b>	<b>199</b>
3.1	Une question d'échelle.....	199
3.2	Différents schémas d'intégration : une approche par les scenarii.....	201
3.2.1	Pour définir les différents modes de superposition de dispositifs .....	201
3.2.2	Pour la réalisation des structures d'interconnexions.....	202
3.3	Pour une multitude d'application .....	205
3.3.1	Les structures 3D, différents schéma d'intégration pour différentes application. ....	205
3.3.2	Des applications pour différents segments .....	206
<b>4</b>	<b>De nombreux enjeux liés à l'integration 3D .....</b>	<b>208</b>
4.1	Les outils de conception & la gestion de différents effets .....	209
4.2	Quelques éléments pour une analyse de la valeur de l'Integration 3D .....	210
4.3	La question des coûts de fabrication. ....	212
<b>5</b>	<b>Une exploration organisée.....</b>	<b>213</b>
5.1	Des programmes de recherche .....	213
5.2	Des conférences scientifiques internationales.....	215
5.3	Des consortia industriels .....	215
5.4	L'ITRS et les premières « roadmaps » technologiques interconnection TSV .....	216
<b>6</b>	<b>Quelques premières conclusions.....</b>	<b>217</b>
	<b>Références : .....</b>	<b>219</b>



## 1 INTRODUCTION

Dans cette partie, nous tacherons de retracer un parcours de travaux de recherche lié à l'apparition en 2007 d'une nouvelle approche communément appelée « 3D-Integration » ou intégration 3D. Cette approche est à situer à l'intersection des domaines du « More Moore » et « More than Moore », comme présenté dans notre première partie de synthèse (cf. Figure 3.1). En effet, comme nous le verrons par la suite, cette nouvelle approche consiste à la fois à diversifier les fonctions réalisées par les circuits mais aussi à augmenter les densités d'intégration des composants.

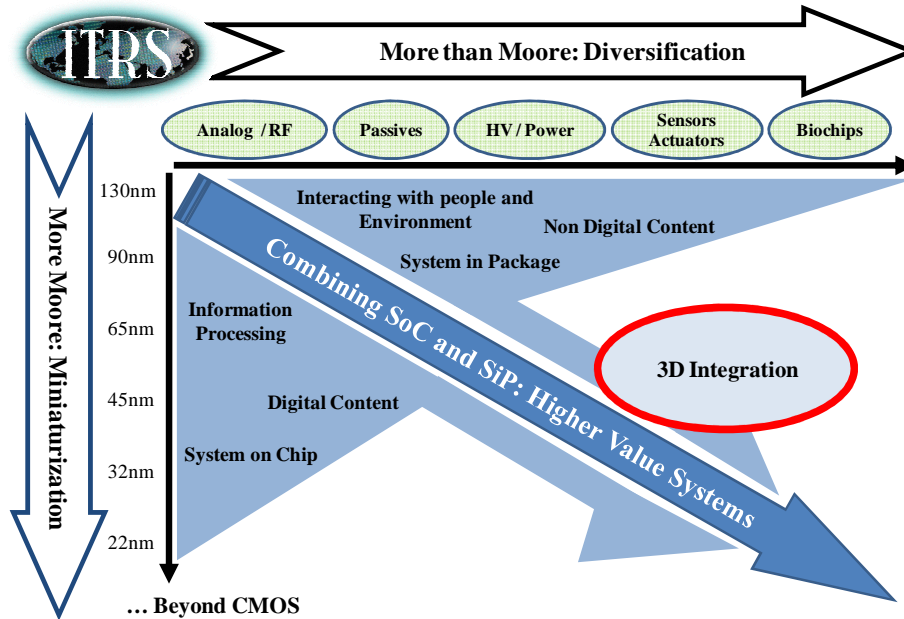


Figure 3.1: Positionnement du champ 3D-Integration entre approches « More Moore » / « More than Moore »

Au cours de cette partie nous commencerons par exposer des éléments de chronologie qui expliquent ce qui a fait l'intérêt d'un tel concept. Nous reviendrons notamment sur quelques rendez-vous manqués avant de relever l'intérêt de ce type de schéma d'intégration et les questions qu'il soulève. Nous montrerons ensuite comment la multiplicité des schémas d'intégration amène à considérer « des » intégrations-3D plutôt que de parler d' « une » intégration 3D. Ceci nous amènera à souligner les enjeux à relever qui rendent les travaux de recherche d'autant plus compliqué à structurer. Nous finirons cette partie en décrivant comment l'écosystème s'est petit à petit organisé, c'est-à-dire : comment la recherche avancée de l'entreprise (qui constitue notre terrain de recherche) a su mettre en place des programmes de recherches diversifiés pour explorer ce nouveau concept, comment des consortia sont apparus et comment l'environnement académique a créé des conférences ou des sessions spécifiques à cette thématique.

Par conséquent, notre objectif dans cette partie est de montrer comment la « recherche avancée » a structuré l'espace de conception relatif à l'intégration 3D en proposant des technologies qui permettront de superposer différents types de composants. Notre ambition n'est pas de réaliser un état de l'art exhaustif des alternatives technologiques mais plutôt de dresser un panorama d'une trajectoire de recherche.

## 2 L'« INTEGRATION 3D » : UNE ALTERNATIVE A L'ESOUFFLEMENT DE LA LOI DE MOORE ?

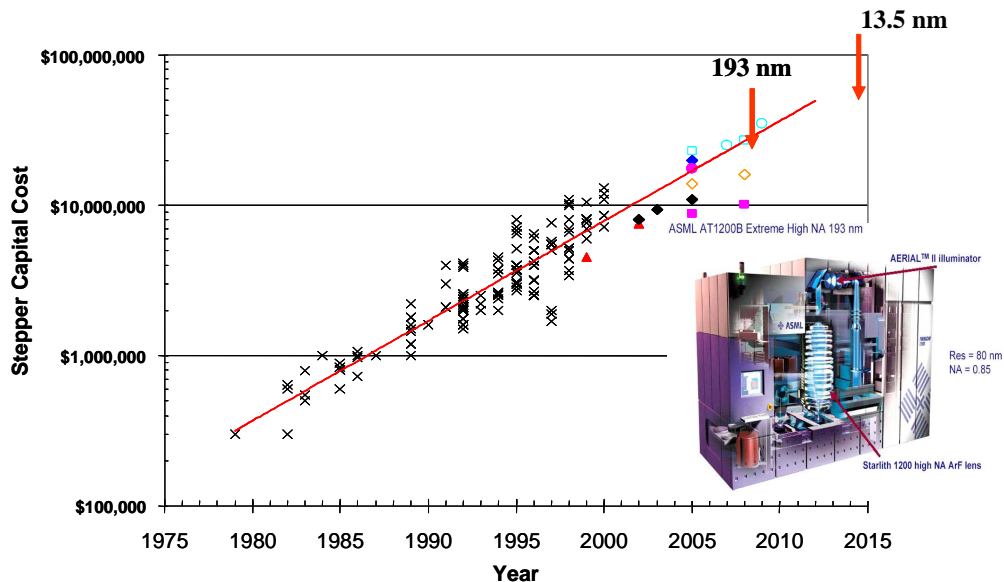
### 2.1 L'ESOUFFLEMENT DE LA LOI DE MOORE

Comme nous l'avons vu dans notre première partie de synthèse, la loi de Moore qui a fait l'efficacité économique du secteur connaît des limites à la fois économiques mais aussi techniques (les progrès et découvertes scientifiques sont encore en passe d'expliquer certains phénomènes qui apparaissent à l'échelle nanométrique).

#### 2.1.1 Des éléments économiques

Comme nous l'avons vu précédemment dans notre partie de synthèse les deux principaux éléments économiques qui apparaissent comme des limites de la loi de Moore sont :

- D'une part une diminution des revenus générés par chaque nœud technologique.
- D'autre part, une augmentation des investissements et des coûts liés à l'introduction de nouveaux équipements. En effet, la Figure 1 montre l'évolution des investissements liés aux équipements de photolithographie où le coût unitaire d'un « stepper » atteint les cent millions de dollars pour les nœuds technologiques les plus avancés.



A ces éléments économiques, on peut ajouter certaines précisions sur les éléments technologiques qui font qu'il est de plus en plus compliqué de poursuivre la loi de Moore. Ainsi, les investissements pour réaliser une usine de fabrication de puces silicium sont de plus en plus prohibitifs, ils atteignent plusieurs milliards de dollars pour les nœuds technologiques les plus avancés.

### 2.1.2 Les limites technologiques & physiques de l'intégration 2D

Les limites physiques rencontrées par l'approche planaire sont de plusieurs type. C'est tout d'abord la taille des interconnexions par rapport aux dispositifs (les transistors font quelques nanomètres, alors que les interconnexions font elles plusieurs millimètres de longueur) qui a un impact direct sur les temps de transmission d'information (impact sur les composantes R, L, C des structures).

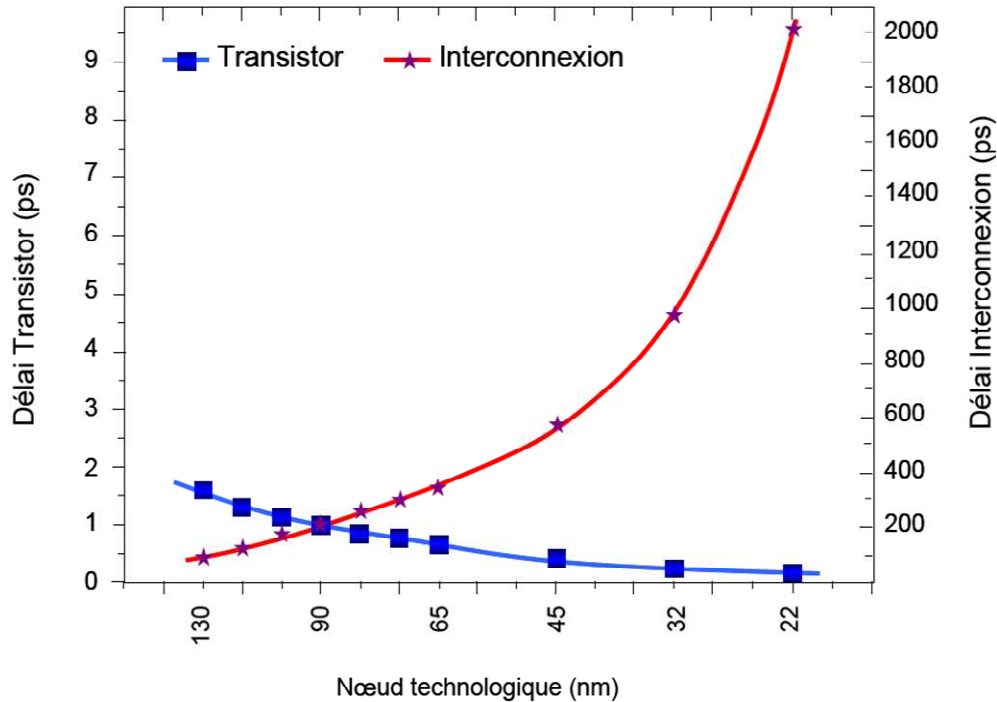


Figure 3.2: Délais de communication et longueur d'interconnexion entre différents dispositifs.

A mesure que les nœuds technologiques se succèdent, la miniaturisation a un impact direct sur la durée de vie des réseaux d'interconnexions et donc des puces. Les contraintes thermiques, électriques et mécaniques supportées par les lignes de cuivre sont de plus en plus importantes. L'apparition de phénomènes tels que l'électro-migration est un des principaux mécanismes de défaillance. Celui-ci se traduit par la migration d'atomes de cuivre sous l'effet du passage des électrons qui a un impact sur le comportement et la fiabilité des structures réalisées. Enfin la consommation énergétique de ces différents dispositifs est de plus en plus importante.

Néanmoins, depuis ces quarante dernières années, les acteurs de l'industrie des semi-conducteurs ont proposé différents schémas d'intégration pour exploiter les structures à base de circuits intégrés. Avant de décrire le concept proposé par l'intégration 3D nous analyserons dans le paragraphe les différents types d'architectures produits mises au point durant ces dernières années.

## 2.2 LA SUPERPOSITION DES COMPOSANTS : UNE ALTERNATIVE POUR LA CO-INTEGRATION

Avant de décrire à quoi correspond l'intégration 3D, revenons sur quelques schémas d'intégration utilisés dans l'industrie des semi-conducteurs pour réaliser des fonctions, sous-produits ou produits. Une des premières structures que l'on peut présenter est le **System on Chip**, abrégé en **SoC** (« système sur puce » ou « système mono-puce » en français), est un système complet embarqué sur une puce. Celui-ci peut comprendre de la mémoire, un ou plusieurs microprocesseurs, des périphériques d'interface, ou tout autre composant nécessaire à la réalisation de la fonction attendue. Le premier **SoC** a été créé en 1974 pour des montres digitales, a été réalisé par George Thiess and Willy Crabtree à Electro-Data, Inc. Ce qui a permis co-intégrer 44 puces différentes en un même composant.

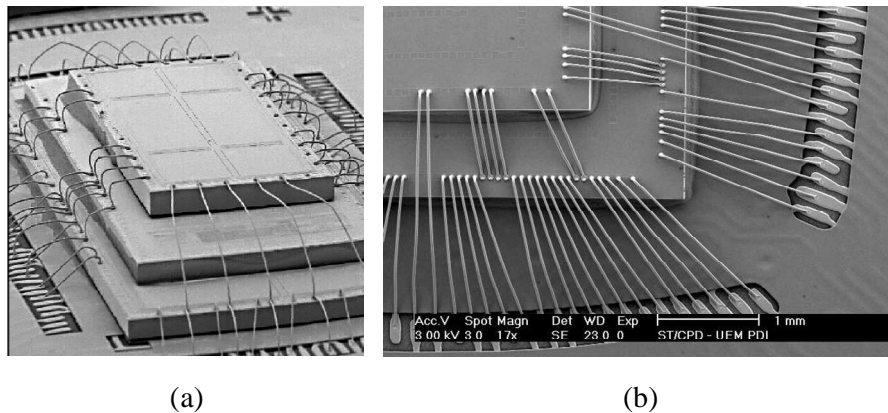


Figure 3.3: Différents schémas d'intégration vus au Microscope à Balayage (a) System in Package et (b) Wire-Bonding, interconnexion puce à puce et puce à package.

Néanmoins, toutes les fonctions ne sont pas intégrables en **SoC**, ceci a amené différents acteurs à proposer d'autres schémas d'intégration. Un second type de schéma d'intégration est le **System in Package** ou **SiP** qui consiste à regrouper plusieurs puces dans un même package (cf. Figure 3.3) pour réaliser une fonction spécifique. Ces puces sont inter-reliées au moyens de « Wire-bonding » qui sont des fils d'interconnexion puce à puce ou puce à package. On peut retrouver plusieurs types de structures liées à des intégrations différentes comme le Package on Package – **PoP**, qui consiste à superposer différents « **packaging** » ou le **Multi-Chip Module**, qui consiste à intégrer plusieurs puces dans un même module. Du fait des contraintes économiques et physiques (notamment la limitation en densité d'intégration et la performance des moyens d'interconnexion) l'ensemble de ces architectures et structures sont à leurs limites.

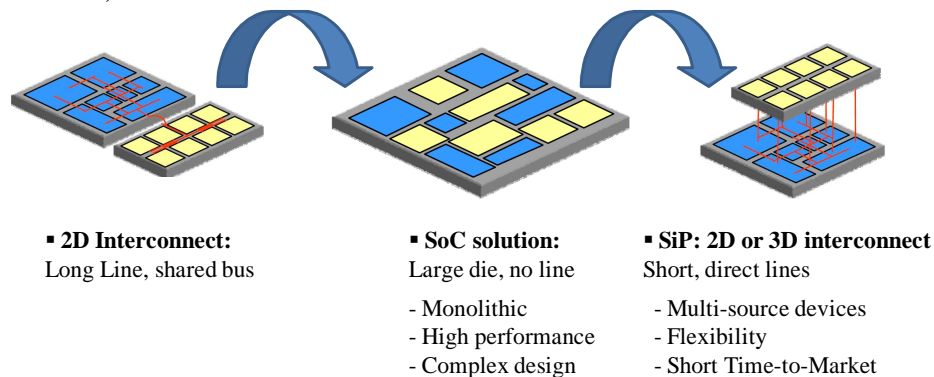


Figure 3.4: Le passage d'une approche 2D à une approche 3D.

Pour ces différents schémas d'intégration, les métiers sont déjà structurés, on en distingue essentiellement deux. Le premier type de métiers est dit « **Front-End** », il désigne tous les métiers liés au processus de fabrication de puces sur substrat Silicium, ceux-ci consistent à développer les technologies planaires permettant de réaliser des puces en salle blanche. Le second est le « **packaging** » qui consiste à découper les puces fabriquées sur silicium pour réaliser leur mise en boîtier : ce type de métier regroupe toutes les technologies liées à l'assemblage des puces.

### 2.2.1 Les intérêts de l'intégration 3D en 2007

Au début de nos travaux, dès 2007, certains analystes et cabinets de conseil en haute technologies commencent à souligner l'intérêt que pourrait représenter l'intégration 3D au vu des limites rencontrées par l'approche planaire. A priori, les avantages de l'intégration 3D semblent être de trois types :

1- Tout d'abord, l'intégration hétérogène : ce type d'intégration permettrait de superposer différents types de fonctions et donc de co-intégrer des technologies réalisées sur différents substrats (Silicium, AsGa, etc.)

2- Ensuite, un des avantages (qui reste à confirmer) est le coût : une intégration de ce type serait moins chère à réaliser que des structures sur des technologies planaires. En effet, comme nous l'avons vu précédemment l'approche planaire induit des coûts de plus en plus importants. L'intégration 3D serait une alternative qui permettrait d'exploiter des effets de modularité

3- Enfin, c'est la densité d'intégration : les approches basées sur les technologies classiques comme le « Wire-bonding » seront limitées en densité et performance (débit de transmission d'information, puissance, etc.). Ainsi dès ce moment, le « Through Silicon Via » TSV devient un « *Technological key enabler* » pour interconnecter différents niveaux de composants, obtenir une plus forte densité d'intégration de composants et de meilleures performances.

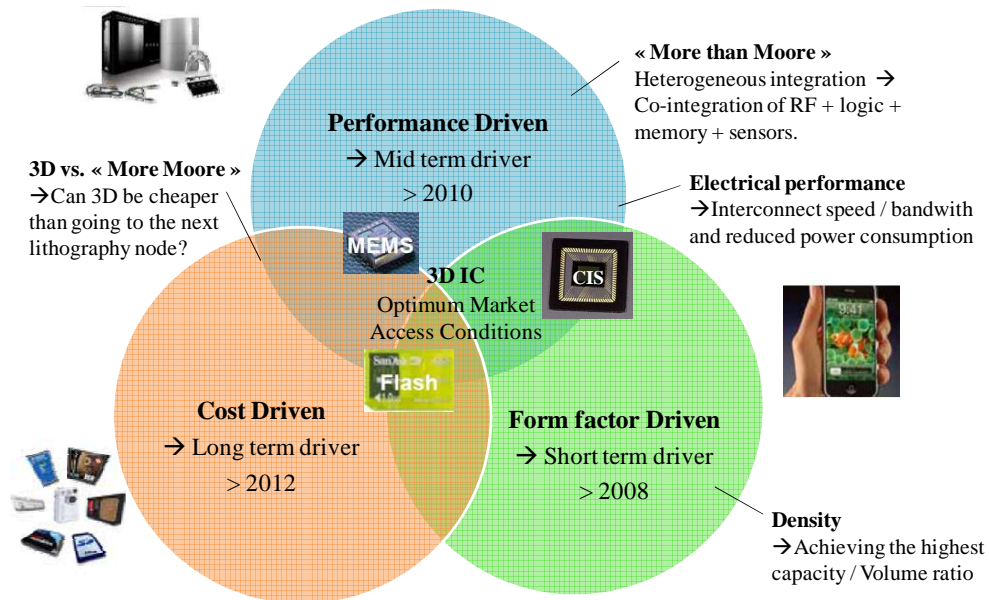


Figure 3.5: Facteurs d'adoption de l'intégration 3D (Performance, coût et densité d'intégration)  
(YoleDéveloppement 2007)

Par conséquent le concept de 3D-Integration semble très attrayant pour toutes ces raisons (encore faudrait-il qu'il tienne toutes ses promesses). Ce que l'on peut remarquer c'est que ce concept « 3D-Integration » est beaucoup plus ancien que les années 2000 ou 2007. Certaines technologies ont fait l'objet d'explorations ponctuelles, néanmoins ces travaux n'ont que partiellement été poursuivis jusqu'au stade de l'industrialisation et du produit. Dans le paragraphe suivant nous reviendrons sur quelques exemples pour décrire certaines alternatives technologiques qui ont été envisagées pour réaliser des interconnexions à travers le substrat (ce que l'on pourrait qualifier comme étant les premiers TSV).

## 2.3 L'INTEGRATION 3D : CERTAINS RENDEZ-VOUS MANQUES

### 2.3.1 Un concept qui date des années 70

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'approche qui consisterait à superposer différents dispositifs et réaliser des interconnexions à travers le substrat silicium est loin d'être toute nouvelle. Si nous nous intéressons à l'histoire de ce concept, nous pouvons relever à l'origine deux types d'approches qui ont été envisagées. Celles-ci comme nous le verrons ci-dessous sont clairement distinctes par le type de procédés qu'elles mobilisent. Néanmoins, même si elles ont fait l'objet de travaux de recherche (comme le montrent les publications présentées en conférence, les brevets déposés ou les thèses réalisées sur cette thématique) leur développement n'a pas été poursuivi jusqu'au stade industriel. La première approche envisagée pour réaliser des interconnexions à travers le substrat de Silicium est décrite dans un des premiers brevets relatif à l'intégration 3D en 1972 (et a été déposé par IBM). Dans ce brevet intitulé « Hourglass-shaped conductive connection through semiconductor structures ». (*Stuby 1972*) l'inventeur propose de graver des « trous » dans le substrat de silicium d'une part et d'autre du substrat, avant de réaliser les interconnexions par dépôt de couche de matériaux conducteurs. Ce type de structure permet d'avoir accès aux deux faces d'un substrat pour y fabriquer les différents dispositifs classique de l'industrie (transistors, composants passifs, etc...) et de superposer plusieurs couches de substrat. On obtient ainsi un produit composé de plusieurs substrat interconnectés par un premier type de TSV (Through Silicon Via), des interconnexions électriques qui traversent le substrat silicium. Pour réaliser ce type de structures, il est nécessaire de réaliser la couche (30) inter-puce et (26) intra-puce (cf Figure 3.6).

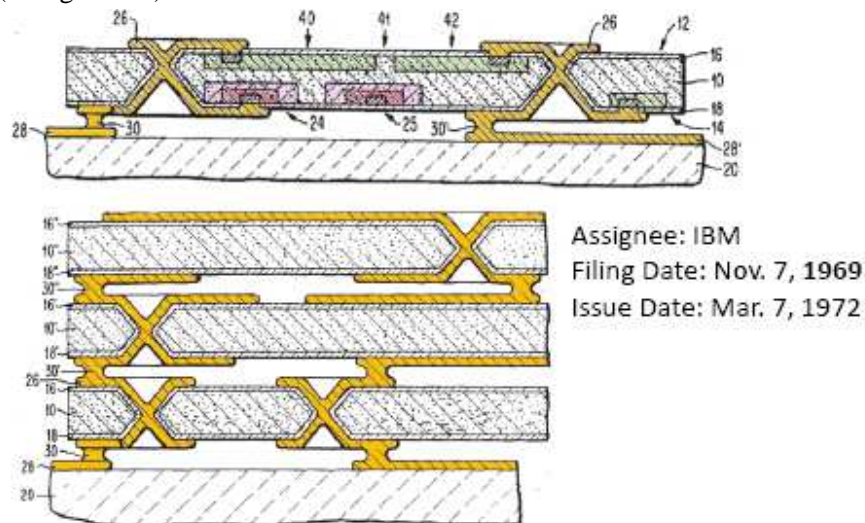


Figure 3.6: Un des premiers brevets relatif à l'intégration 3D (IBM)

Une seconde approche envisagée aux débuts des années 80 consiste à réaliser des interconnexions à travers les substrats de Silicium sans creuser de cavité ou de trous. L'une des principales alternative consiste à réaliser des interconnexions par Thermo-migration. Ce procédé, mis au point dans les années 30 (*Whitman 1926*) consiste à faire migrer une inclusion liquide dans un milieu solide soumis à un gradient de température. Plusieurs applications sont liées à ce procédé comme le dopage de caissons de substrats de silicium ou de germanium (*Pfann 1955*), ou encore, dans les années 80 la réalisation de chemins d'interconnexions dans le volume d'une plaquette de silicium (*Lee, Brown et al. 1981*). Ce dernier exemple présente donc une première manière de réaliser des circuits 3D qui permettrait de relier plusieurs plaquettes ou puces les unes sur les autres via des micro-ressorts et des chemins thermomigrés d'aluminium de conductivité suffisante pour conduire le courant d'une face à l'autre de la plaquette (figure 3.7).

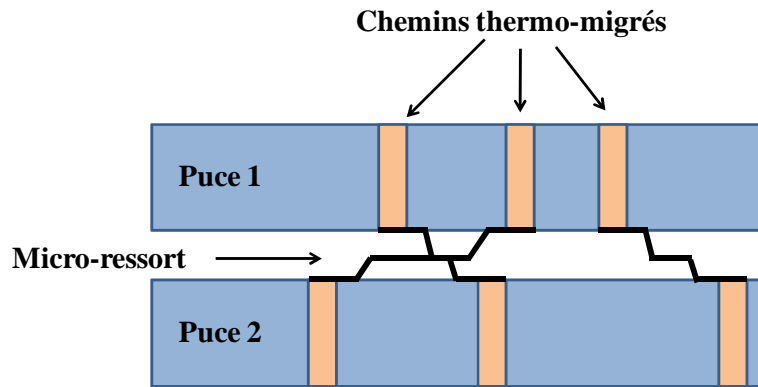


Figure 3.7: Empilement 3D avec « TSV » en aluminium thermo-migrés (Lee, Brown et al. 1981)

Les « TSV thermo-migrés » en aluminium à travers le silicium seront également utilisés dans le biomédical (*Campbell, Jones et al. 1991*), pour la fabrication de photodiodes (*Johansson, Masoud et al. 1992*) ou de détecteurs de rayons X pour la NASA (*Alcorn, Kost et al. 1982*), mais les applications à la microélectronique seront laissées à l'abandon après d'autres essais chez NEC en 1985 (*Yasumoto 1986*) et chez IBM en 1987 (*Blum 1989*), les avantages de l'intégration 3D n'étant pas à cette époque immédiats. Les travaux les plus récents sur ce type de structure thermo-migrées ont fait l'objet d'une thèse portant sur la réalisation de murs d'isolation dans les substrats silicium à base de composants thermo-migrés. (*Morillon 2002*). Ainsi pendant plusieurs années les conditions de l'apparition d'une 3D-Integration n'étaient pas complètement définies, mais cette thématique faisait plus l'objet de « coups de sonde » pour l'évaluation et la définition de briques technologiques et applications.

### 2.3.2 Des conditions non-réunies pour l'exploration de ce type d'alternative ?

Aujourd'hui, alors que la thermo-migration a été remplacée par des procédés compatibles avec les technologies MOS plus faciles à mettre en œuvre, le développement de structures de type TSV marque une réelle rupture dans l'intégration de puces, autorisant de bien meilleures performances et un gain de place considérable comme nous allons le montrer dans la partie suivante. L'intégration 3D est un concept qui a soulevé de multiples questions : quels sont les partitionnements de puces à réaliser, les compromis (en terme de performance, coût, surface) à trouver ? Quels sont les procédés à développer ? Quelle est la première application qui exploitera cette nouvelle approche ? Comment « packager » ce type de structure ? Comment concevoir et optimiser un système exploitant un empilement de puces ? Comment évaluer le coût de

fabrication de ces technologies ? Pour quel rendement de fabrication ? Quel type de technologie 3D utiliser, quelles structures? Ainsi, ce premier concept très jeune, non mature mais très prometteur draine tout un ensemble de questions qui montre la complexité et le grand ensemble d'alternatives générées par ce concept. Il s'agit donc d'explorer de nouveaux espaces de conception, décrivons un peu plus en détail quels sont les choix et les alternatives de conception ouvertes.

### 3 NON PAS UNE INTEGRATION 3D MAIS DES INTEGRATIONS 3D

Ce que nous allons exposer à travers ce paragraphe, c'est à la fois la multiplicité des types de TSV envisageables, les applications adoptant ce type d'approche et les « flots » d'intégrations possibles. L'ensemble de ces éléments tendent à montrer qu'il n'y a pas une unique approche possible, mais plutôt un ensemble d'approches qui permettent d'envisager des interconnexions verticales. En effet, intuitivement on pourrait se dire que l'on peut interconnecter verticalement des produits, des composants ou des parties de circuit. Ceci a amené les acteurs de l'industrie mais aussi les laboratoires de recherche à définir une typologie des intégrations 3D, à les classer selon le type d'interconnexions mais aussi selon le type de technologie utilisée, ce que nous allons tâcher de décrire dans nos prochains paragraphes. Cette typologie n'a pas été définie a priori (en 2007), elle a été construite au fil du temps pour arriver à des notions stabilisées par l'ensemble des communautés scientifiques à partir de 2009.

#### 3.1 UNE QUESTION D'ECHELLE

Un des éléments différenciant des différentes technologies 3D est la notion de « **densité d'interconnexion** ». En effet, la densité des interconnexions a un impact à la fois sur le type d'objets qui seront interconnectés, le type de technologies utilisées et les applications envisageables. On distingue de manière classique trois types de « densité d'interconnexion » :

- La « 3D Integration » à faible densité d'interconnexions qui consiste à superposer des produits semi-finis ou mis en boîtiers les uns sur les autres. Ce type d'intégration est basée sur les métiers traditionnels du « **packaging** » qui permettent de superposer des boîtiers grâce à différentes approches (le « Wire-bonding » ou la superposition « Package on Package » directe). Ce type d'approche est représenté dans la figure 3.8 comme une intégration de faible complexité où les enjeux de conception se situent essentiellement au niveau des boîtiers d'assemblage. Ce type d'approche est déjà en production sur différents produits.

- La « 3D Integration » à moyenne densité consiste à superposer différents circuits intégrés à l'aide de via. Cette approche est décrite dans la figure 3.8 comme étant le « 3D-WLP ». « **WLP** » signifie « **Wafer-Level-Packaging** », ceci signifie que les via sont utilisés comme un moyen d'interconnecter différents niveaux de puces au packaging. Ce type d'approche consiste à ajouter tout un ensemble d'étapes en salle blanche pour réaliser des via sur des circuits intégrés réalisés au préalable. Ce type de technologies est déjà en production chez certains acteurs, notamment STMicroelectronics qui applique cette solution pour ses capteurs d'images.



- La « 3D-Integration » à haute densité qui consiste à superposer des composants ou des parties de composants. Ce type d'approche est appelé « **3D SiC** » pour « **3D Stacked Integrated Circuit** », les étapes de superposition mobilisent des procédés réalisés au niveau du « front-end » et de la fabrication même des composants. Ce type d'alternative envisagée pour des applications à basse consommation et haut débit de transmission de données engage des métiers liés au développement de circuit intégrés plutôt que des métiers liés à l'assemblage et la mise en boîtier.

- Enfin un dernier type de « 3D-Integration » est celle de très haute densité, plus communément appelée 3D-Integration ultime ou 3D séquentiel, où l'objectif est de réaliser des via au niveau local entre différents composants unitaires (transistors ou regroupement de transistors). Cette alternative particulière fait l'objet de plusieurs travaux de recherche pour différentes applications qui nécessitent des fortes densités d'intégration. C'est le cas des mémoires qui ont fait l'objet d'une thèse au CEA-LETI (*Batude 2009*), ou des pixels miniaturisés et intégré en 3D qui a fait l'objet d'un travail de recherche chez STMicroelectronics entre 2006 et 2009 (*Coudrain 2009*). L'objectif sera de réaliser un partitionnement au niveau des composants unitaire actifs, plutôt que partitionner des fonctions ou des parties de composants.

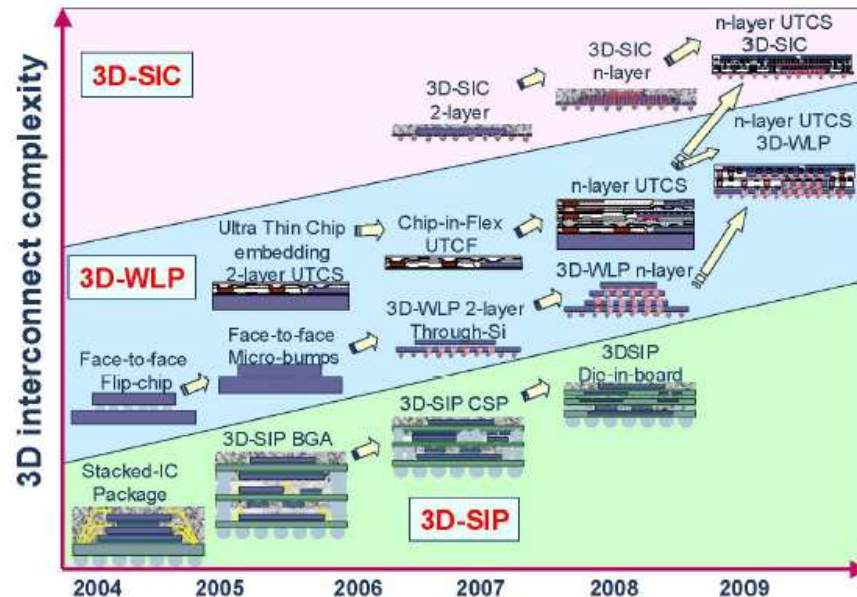


Figure 3.8: Roadmap IMEC pour les structures 3D SIP, 3D WLP et 3D SIC (Beyne and Swinnen 2007)

En 2009, l'ITRS reprend cette typologie d'intégration et insiste sur la multiplicité des approches pour réaliser ces architectures. La description prend ainsi la forme suivante selon l'échelle des structures associées (ITRS 2009 EDITION) :

“*3D-Wafer-Level-Packaging (3D-WLP)*—3D integration using wafer level packaging technologies, performed after wafer fabrication, such as flip-chip redistribution, redistribution interconnect, fan-in chip-size packaging, and fan-out reconstructed wafer chip-scale packaging

*3D-System-on-chip (3D-SOC)*—Circuit designed as a system-on-chip, SOC, but realized using multiple stacked die. 3D-interconnects directly connect circuit tiles in different die levels. These interconnects are at the level of global on-chip interconnects. Allows for extensive use/reuse of IP-blocks.

*3D-Stacked-Integrated-Circuit (3D-SIC)*—3D approach using direct interconnects between circuit blocks in different layers of the 3D die stack. Interconnects are on the global or intermediate on-chip interconnect levels.

The 3D stack is characterized by a sequence of alternating front-end (devices) and back-end (interconnect) layers.

*3D-Integrated-Circuit (3D-IC)*—3D approach using direct stacking of active devices. Interconnects are on the local on-chip interconnect levels. The 3D stack is characterized by a stack of front-end devices, combined with a common back-end interconnect stack.”

En résumé, on peut donc dire qu'il y a différentes approches liées à l'intégration 3D. Celles-ci sont essentiellement différenciées par l'échelle à laquelle sont réalisées les interconnexions verticales : au niveau du produit « 3D-SiP », au niveau du *packaging* « 3D-WLP » (pour 3D *Wafer Level Packaging*), au niveau du composant « 3D- SiC », ou au niveau du transistor ou composant unitaire « 3D-IC ».

A travers cette typologie, on remarque que l'ensemble des métiers classiques de l'industrie (métiers liés à la fabrication des composants mais aussi à leur packaging) sont sollicités. Néanmoins, chaque alternative nécessite le développement de compétences spécifiques pour chacun des métiers. Par conséquent, on peut remarquer que l'intégration révisé les approches classiques de l'industrie des semi-conducteurs (approche planaire), mais tend aussi à modifier les interrelations entre métiers. En effet, les différents types d'intégration 3D introduisent des notions de co-intégration entre métiers « *packaging* » et métiers « *Front-End* », c'est donc la séparation et le cloisonnement entre métiers liés à la fabrication de puces et le packaging qui n'a plus lieu d'être. Par conséquent, l'intégration-3D nécessite de reconsidérer les interfaces de travail entre ces différents métiers. Sur notre terrain de recherche, cette problématique s'est traduite par l'introduction de groupes de travail entre ces différents métiers pour appréhender les problématiques à chacun des niveaux.

### 3.2 DIFFERENTS SCHEMAS D'INTEGRATION : UNE APPROCHE PAR LES SCENARI

Au-delà de l'échelle à laquelle est réalisée le TSV, il y a aussi une problématique liée au flot d'intégration, c'est-à-dire l'ordre dans lequel doivent être réalisées chacune des étapes et du type de technologies qui lui sont associées. En effet, les schémas d'intégration doivent prendre en compte différents aspects : compatibilité des procédés, budgets thermiques, impact électriques des différentes structures, etc. Par conséquent, si on prend le cas du TSV réalisé entre différents composants (cas à partir duquel nous poursuivrons notre exposé), nous avons tout un ensemble de questions soulevées par ce type d'intégration : les interconnexions doivent-elles être réalisées avant ou après les composants ? Quel est l'impact du collage de différentes structures ? Comment aligner deux composants avec une précision inférieure à 1µm ? Quelles sont les structures à superposer : des puces singulières, des plaques de silicium ?

#### 3.2.1 Pour définir les différents modes de superposition de dispositifs

Nous venons de passer en revue les avantages espérés de la 3D en matière de performance, de fonctionnalité et de faisabilité. Ces nombreux points positifs sont directement liés à la nature de l'empilement, autorisant un contact direct entre les différentes strates. Il est important de comprendre ici que pour arriver à une telle architecture, différentes voies peuvent être empruntées. Le principal objectif de l'intégration 3D est de superposer différents dispositifs qui peuvent être des plaques de silicium (Wafers), ou des puces (Die), on a différents scenarii de superposition qui peuvent être du plaque à plaque (appelé plus communément W2W pour

« wafer-to-wafer », D2W pour « Die-to-Wafer » ou D2D pour « Die-to-Die »). Si l'on cherche à évaluer les modes de superposition, plusieurs arguments peuvent être avancés. Ceux en faveur du scénario « puce à plaque » sont de deux ordres. Tout d'abord, cette approche permet de superposer des composants de différentes taille et nature, ensuite celle-ci permet de superposer des composants testés sur des composants testés. Ainsi, du fait de questions de rendement de fabrication l'approche plaque à plaque parait plus limitée. Néanmoins, l'approche plaque à plaque permet de fabriquer collectivement des structures 3D et donc réduit les temps de procédés et technologies d'assemblage (par exemple, il est plus facile d'obtenir certaines précisions d'alignement au niveau des plaques plutôt qu'au niveau de chaque puce).

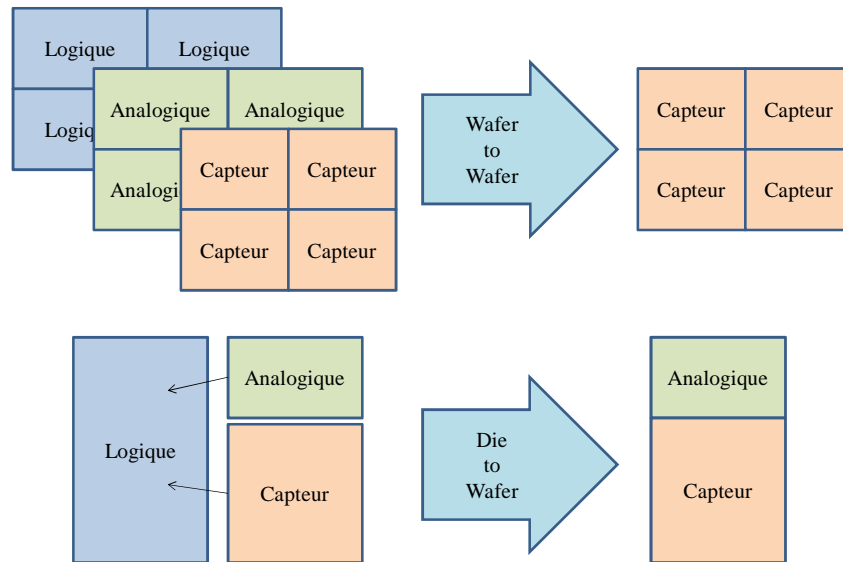


Figure 3.9: Comparaison entre une approche plaque à plaque (haut) impliquant des tailles de puces identiques et une approche puce à plaque (bas), modulaire et flexible

Ainsi, chaque type de superposition a ses avantages et inconvénients. Pour l'instant les approches du type 3D-WLP ont opté pour une superposition plaque à plaque alors que les alternatives 3D-SiC s'orientent vers des approches puces à plaques pour tirer parti des effets de modularités rendus possibles par l'intégration 3D. Certaines technologies sont incontournables pour superposer différents dispositifs que ce soit des plaquettes de silicium ou des puces, il s'agit : des techniques de collage, d'alignement et d'amincissement de plaques. Nous ne ferons pas un état de l'art exhaustif de ces différentes techniques, mais nous chercherons à qualifier les problèmes de conception auxquels sont confrontés les chercheurs pour chaque scénario d'intégration.

### 3.2.2 Pour la réalisation des structures d'interconnexions

Pour la réalisation des interconnexions de type TSV on retrouve quatre options selon que cette étape est réalisée sur substrat silicium brut (*Via First*), après la réalisation des transistors (*Via Middle*), après la réalisation des niveaux d'interconnexions du circuit intégré (*Via Last*) ou après collage des différents dispositifs (*Via after Bonding*).

Ainsi, la réalisation de structures exploitant l'intégration 3D passe par l'introduction de technologies liées à l'assemblage : l'amincissement, la préhension de substrats amincis, l'alignement de dispositifs et les techniques de collages.

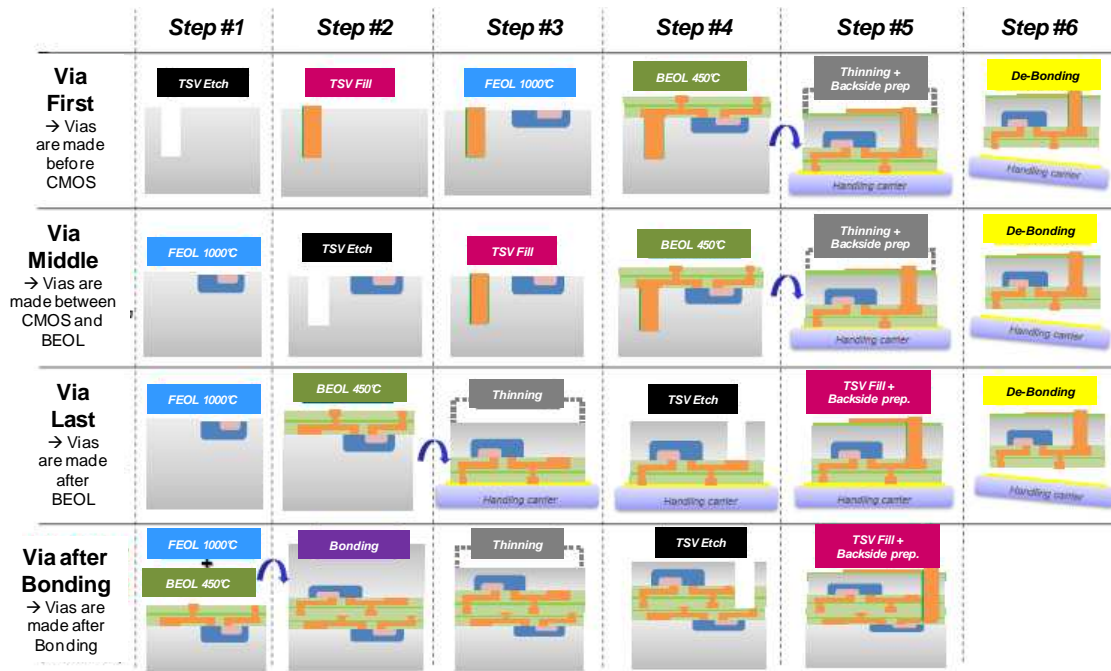


Figure 3.10: Schémas d'intégration de structures 3D (YoleDéveloppement Final Report -December 2009)

Pour chacune de ces technologies il existe un ensemble d'alternatives qui font l'objet de projets de recherche dans des laboratoires publics, des laboratoires industriels ou des start-ups. Si nous prenons par exemple le cas du collage, certains laboratoires comme le CEA/LETI développent des approches basées sur le collage dit «oxide-oxide», alors que certaines start-up comme Ziptronix (*Enquist, Fountain et al. 2009*) proposent des approches dites hybrides où l'on peut coller des interfaces de différentes natures (oxides et métaux). De même que pour le collage on a tout un ensemble d'alternatives (souvent concurrentes) qui sont en cours de développement, on retrouve le même type de situations pour les autres briques technologiques (alignement, amincissement et réalisation des TSV). Pour l'ensemble de ces quatre options, une brique technologique est fondamentale le TSV (**Through Silicon Via**) qui permet de réaliser la connexion électrique entre les différentes couches de silicium. La réalisation de ces dispositifs s'appuie sur certaines étapes qui sont tout à fait critiques :

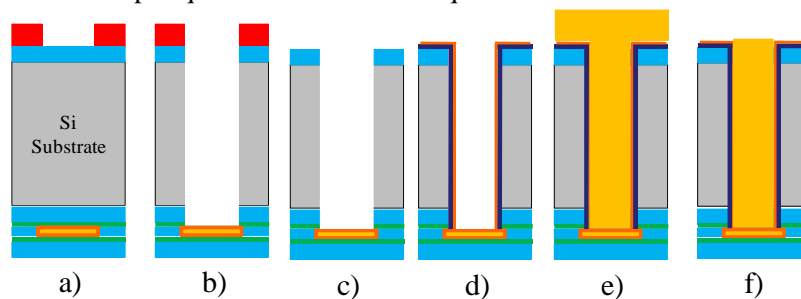


Figure 3.11: Principales étapes pour la réalisation d'un via

La première étape a) consiste à déposer une résine de gravure qui va permettre de définir la zone dans laquelle sera réalisée le via. Cette résine après insolation est gravée puis les motifs relatifs au via sont réalisés par photolithographie, ce qui est représenté en Figure 3.9 b). Suit ensuite une étape appelée « c) *Stripping* » qui consiste à éliminer les résidus de résine pour dégager la surface du substrat. Le Via est ensuite rempli par trois couches de différents matériaux qui se superposent, une première destinée à être une barrière à la diffusion des espèces métalliques dans le substrat, une seconde qui est une couche d'accroche pour les espèces métalliques d), une troisième qui consiste à remplir le via d'espèces métalliques, e). La dernière étape consiste à réaliser du polissage mécano-chimique (CMP) pour enlever le cuivre de la couche de silicium et laisser un substrat propre, f). Nous allons rapidement revenir sur chacune des alternatives pour réaliser ces vias

**1) La gravure des Via :** La technologie dominante pour graver des via est le *Deep Reactive Ion Etching* (DRIE) qui correspond à une gravure de via profond. Ce procédé est commun à l'ensemble des approches (Via first, Via Middle, Via Last, Via after Bonding). Etant donné que cette opération est assez lente (donc coûteuse), l'opération de gravure sera le plus souvent réalisée après amincissement des plaques de silicium qui doivent comporter des via.

**2) L'isolation des Via:** Celle-ci doit être conforme tout au long de la profondeur du via pour assurer une bonne isolation du substrat d'effets parasites. Différents moyens sont utilisés pour réaliser des isolations conformes comme les « *oxydations thermiques* » (qui ont l'inconvénient de ne pas pouvoir être appliquées sur tout type de structures), l'ALD (acronyme pour « *Atomic Layer Deposition* ») qui consiste à déposer couche d'atome par couche d'atome un matériau (néanmoins ce procédé est très lent et donc très coûteux (avec des qualités d'oxydes moindres).

**3) Le dépôt d'une couche d'accroche au cuivre:** Encore une fois, un des enjeux est de disposer d'une couche conforme, ce type de barrière prévient la diffusion de particules métalliques à travers l'oxyde dans le substrat. Différents types de procédés et techniques peuvent être utilisés comme la *CVD* (pour *Chemical Vapor Deposition*) ou l'ALD (*Atomic Layer Deposition*). Là aussi on a des contraintes de budget thermiques qui font que certains procédés sont plus adaptés que d'autres selon les schémas d'intégration

**4) La photolithographie spécifique à la 3D-Integration :** La lithographie 3D est nécessaire pour certains flots spécifiques comme le « *via-last* » les via étant réalisés sur la face arrière de la plaquette de silicium. C'est une technique assez difficile à maîtriser du fait des précisions d'alignement à obtenir entre les faces arrière et avant.

**5) Le remplissage du Via:** Depuis ces quelques dernières années, l'industrie a retenu trois types de matériaux pour le remplissage des via, selon le type d'application et des contraintes de fabrication. On retrouve le poly-silicium (dont le dépôt doit être réalisé tôt dans le process-flow étant donné les hautes températures nécessaires à ce procédé – qui peuvent endommager certaines structures pré-existantes). Ainsi pour ce type de dépôt on préférera les scénarii « *via-first* » ou « *via-middle* ». Il y a aussi le Tungsten et le Cuivre, utilisés comme matériau de remplissage des via pour plusieurs types d'applications (RF, packaging). Du fait de son coefficient d'expansion

thermique, il semblerait que le remplissage de via avec ce type de matériau soit limité à des facteurs de forme de 5 (ce qui signifie que la hauteur du via est au maximum cinq fois plus élevée que son diamètre).

Ainsi, dans un flot de procédé 3D permettant de réaliser une application, on distinguera si l'on reporte des puces sur des puces ou des puces sur des plaques (etc.), la manière dont on reporte ces éléments (qui déterminera laquelle des faces sera connectée électriquement), à quel moment le TSV est réalisé (avant ou après collage, avant ou après réalisation des transistors) et sur la base de quelles technologies (nous avons qu'il y avait différentes approches pour la gravure et le remplissage des vias).

### 3.3 POUR UNE MULTITUDE D'APPLICATION

#### 3.3.1 Les structures 3D, différents schéma d'intégration pour différentes application.

Par conséquent, lorsqu'il s'agit de concevoir des circuits 3D, les choix sont multiples que se soit au niveau du type de report qui peut être « puce à puce » (« Die-to-Die »), « plaque à plaque » (« Wafer-to-Wafer ») ou « puce à plaque » (Die-to-Wafer). Au-delà du type de report c'est aussi le schéma d'intégration qui peut être différent. Ainsi, si le produit nécessite des vias à fort facteur de forme, on se tournera vers un TSV First, et si l'on privilégie la flexibilité du procédé on utilisera plutôt un TSV last. La figure 3.11 présente, en fonction des applications visées, le type de TSV intégrable. En pratique, aujourd'hui les schémas d'intégration s'appuient sur des superpositions de type puce à plaque (« Die to Wafer ») via dit « After Bonding ». Ce type d'intégration a été choisi par la plupart des acteurs de la 3D pour sa flexibilité, sa souplesse et sa facilité de mise en oeuvre sur la chaîne d'approvisionnement.

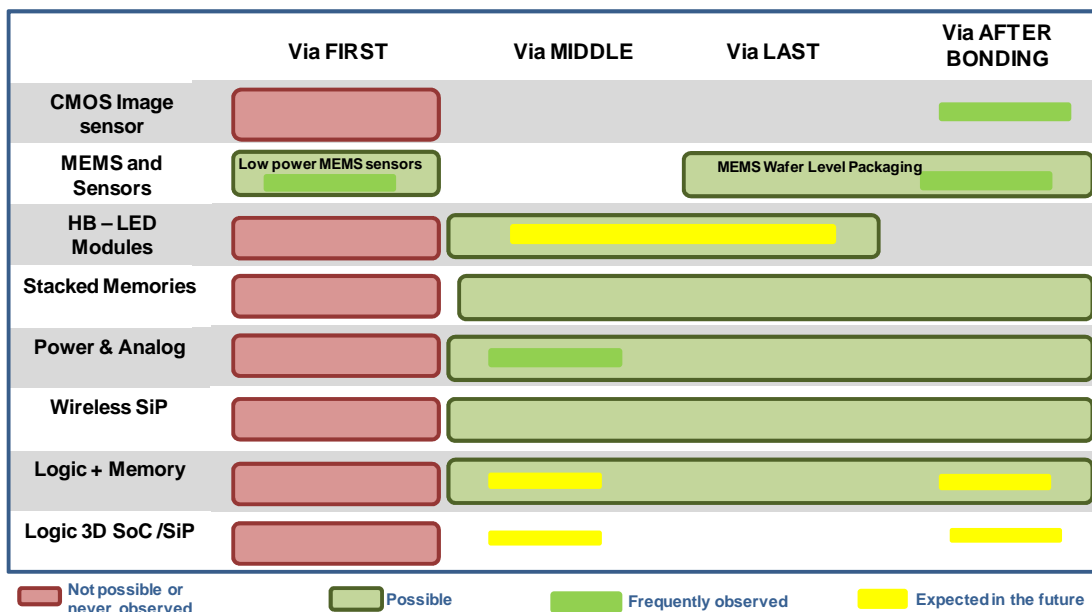


Figure 3.12: Applications et choix d'intégration (YoleDéveloppement Final Report -December 2009)

Chacune des briques technologiques s'appuie sur des démonstrateurs ou des prototypes (Henry, Cheramy et al. 2009) qui ont pour but de démontrer à la fois la faisabilité du schéma d'intégration et le gain de performance obtenu pour certains produits. Nous présentons ci-dessous un démonstrateur réalisé pour les « set-top-box » que sont les décodeurs pour téléviseurs. L'objectif ici est d'empiler une puce logique et analogique, ainsi par rapport à la figure 3.12 on se retrouve dans une configuration du type « Power & Analog » pour lesquelles, des technologies du type « Via Last » ou « Via after bonding » seront mieux adaptées. Ainsi, l'application fixe la densité du type d'intégration qui permet de reconsidérer le schéma d'intégration.

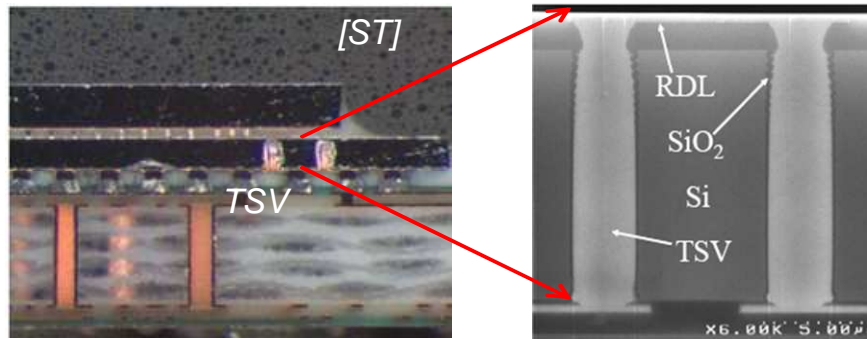


Figure 3.13: Un exemple de démonstrateur réalisé chez STMicroelectronics pour les applications « set-top-box »

### 3.3.2 Des applications pour différents segments

A STMicroelectronics, la première application à avoir intégré des TSV est les capteurs d'images. Le principal enjeu pour ce type de capteur était de réduire l'espace occupé par ce type de composant dans les applications mobiles (comme les téléphones portables) et donc de gagner en densité d'intégration. Pour cela, cette brique technologique a fait l'objet d'un transfert technologique du CEA-LETI au site industriel de Crolles. Ce transfert a été particulièrement rapide puisque la décision d'adopter cette technologie a été signifiée en Mai 2007 et les premiers composants ont été livrés à un client réalisant des téléphones portables en Décembre 2007. Pour ce type d'application, l'intégration technologique développée a été la réalisation de TSV de type WLP comme solution de packaging. L'intégration de ce type de solution a permis de réduire la taille des composants classiques d'un facteur 4

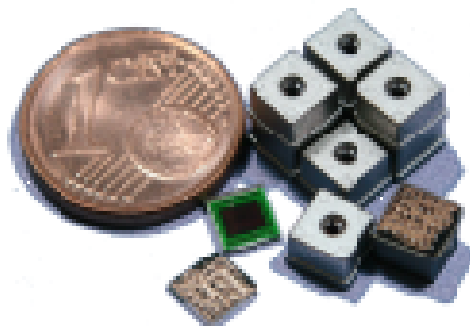


Figure 3.14: Première application adoptant des TSV, les capteurs d'images.

Le choix du type d'intégration et du scénario s'appuie le plus souvent sur des approches du type « Bottom-Up » où il s'agit de déterminer la meilleure approche à privilégier parmi l'ensemble des solutions proposées. Cette approche fonctionnelle consiste avant tout pour une

fonction donnée à évaluer les motivations qui poussent à passer de la 2D à la 3D. Ensuite les spécifications techniques du TSV sont déterminées : elles regroupent les performances électriques, thermiques, les dimensions, les critères de fiabilités, les contraintes liées au packaging et les coûts d'intégration. La troisième étape consiste à identifier les moyens de productions nécessaires, les partenaires éventuels et enfin vérifier que la chaîne d'approvisionnement soit compatible avec les procédés de la 3D (les moyens à mettre en place au niveau de la « supply chain » avant de mettre en œuvre le choix d'intégration. Actuellement l'intégration 3D apparaît comme une alternative technologique d'intégration très prometteuse pour tout un ensemble d'applications (cf. Figure 3.15)

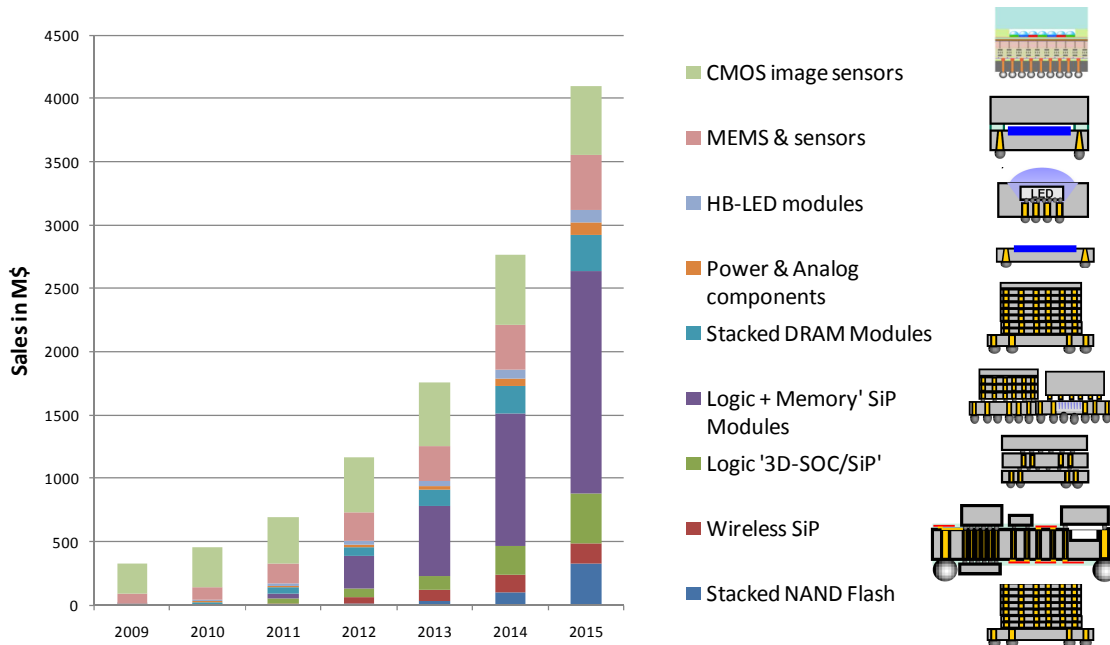


Figure 3.15: L'intégration 3D 'Applications et Marchés' (YoleDéveloppement Final Report -December 2009)



#### 4 DE NOMBREUX ENJEUX LIÉS À L'INTEGRATION 3D

Pour souligner les enjeux de l'intégration 3D, un des auteurs du « handbook » de l'intégration 3D revient sur ce qu'il décrit comme « Les quatre chevaliers de l'apocalypse de l'intégration 3D »<sup>1</sup>, qui représentent les fléaux à surmonter pour développer des technologies et produits reposant sur ce type d'intégration, ceux-ci représentent : la réduction de coût (l'intégration 3D doit être une alternative viable par rapport aux approches 2D), le Test (les méthodes de tests mécanique et électrique pour les structures 3D restent à mettre au point pour assurer la fiabilité de ce type de produit), la gestion des effets thermiques et les outils de « Design » (en effet, les outils CAD sont essentiellement réalisés pour prendre en compte des structures 2D et non pas 3D).



Figure 3.16: Les « 4 chevaliers de l'apocalypse » de l'intégration 3D<sup>2</sup>

Dans la partie suivante nous mettrons l'accent sur deux enjeux soulevés par l'Intégration 3D que sont le « *Design* » et les coûts relatifs à ce type d'approche. Nous ne traiterons pas les aspects thermiques (pour lesquels nous proposons une approche originale en paragraphe 5.1 de notre partie de synthèse), ni les problématiques liées au test des différentes structures. En effet, la thématique design soulève une problématique critique liée aux outils de conception qui permettent de réaliser des applications, la seconde problématique à laquelle nous nous sommes intéressés est celle du coût et des questions de valeur liées à ce type d'intégration. Pour les aspects thermiques, nous pouvons nous reporter à notre partie de synthèse qui présente une manière de traiter ce type d'effet, nous n'aborderons pas les questions de tests celles-ci étant considérées comme secondaires.

<sup>1</sup> Analogie aux quatre chevaliers de l'apocalypse qui inaugurent dans le nouveau testament la fin du monde et représentant la Guerre, la Victoire, la Pestilence et la Mort.

<sup>2</sup> L'illustration est tirée de l'article du blog PFTLE (Perspective From The Leading Edge) sur l'URL : <http://pftle.net/?p=101> tenu par Phillip Garrou un des auteurs de l'ouvrage '**Handbook of 3D Integration: Technology and Applications of 3D Integrated Circuits**'.

#### 4.1 LES OUTILS DE CONCEPTION & LA GESTION DE DIFFERENTS EFFETS

Nous avons vu les multiples questions que soulève l'intégration 3D en terme de choix et développement technologiques. Au-delà de ces aspects « technologiques » à prendre en compte, il y a aussi des aspects liés aux outils de conception. En effet, les outils classiques de conception CAD utilisés pour la conception de circuits intégrés ne gèrent que des configurations planaires 2D. L'introduction de l'approche 3D nécessite donc de concevoir des outils spécifiques qui sont actuellement en cours de développement et test. A ce sujet, différents acteurs proposent certaines solution. A notre connaissances, l'INL<sup>3</sup> travaille actuellement sur une une plate-forme de synthèse appelée « Rune 2 / Rune 3D » qui permet de définir différentes solutions de partitionnement à partir d'une fonction cette solution fait l'objet d'un travail particulier dans le cadre de plusieurs projets collaboratifs (comme 3DIM3 et 3D-IDEAS). Une solution industrielle est proposée par la société R3 Logic (start-up récemment implantée dans la région grenobloise), qui a développé des outils tels que Micromagic (cf. Figure 3.17).

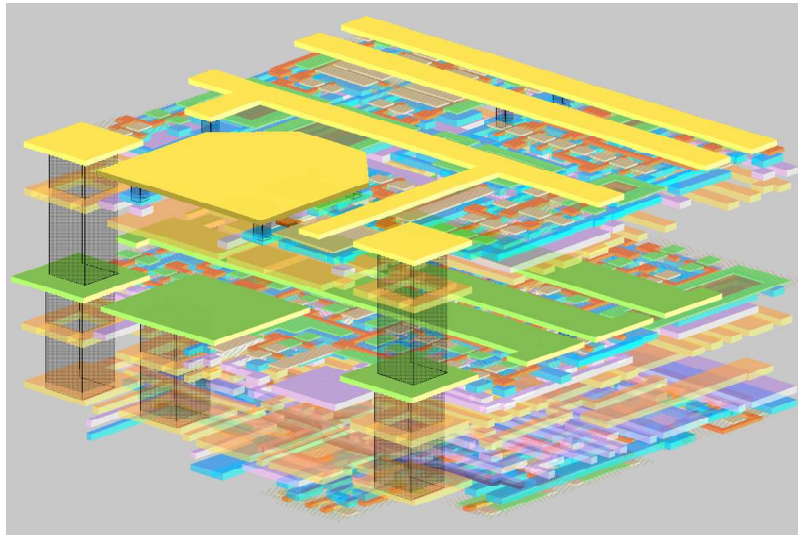


Figure 3.17: Vue de l'outil de design 3D Micromagic

L'objectif de ce type de logiciel est de permettre d'appréhender la conception en trois dimensions pour répartir les fonctions et associer des couches inférieures et supérieures. En plus de cela, ce type d'outil a aussi pour but de réaliser des simulations de comportements de dispositifs, à la fois en terme de comportement électriques ( interactions électromagnétiques entre Via et transistors) mais aussi pour évaluer les effets thermiques (impact de la dissipation thermique sur le fonctionnement des différents dispositifs). Ainsi, ces problématiques d'outils de conception soulèvent différents champs de recherche (McIlrath, Ahmed et al. 2009) comme l'évaluation de l'impact des TSV sur les transistors (Rousseau 2009), (cette question est soulevée par les dimensions des différents composants, les transistors faisant quelques nm, les TSV plusieurs  $\mu\text{m}$ .) ou la modélisation du comportement des TSV (Cadix, Farcy et al. 2009) pour obtenir des spécifications sur le dimensionnement de ce type de dispositif.

<sup>3</sup> Institut des Nanotechnologies de Lyon qui regroupe les laboratoires de écoles suivantes : INSA, Centrale Lyon, CPE Lyon.

## 4.2 QUELQUES ELEMENTS POUR UNE ANALYSE DE LA VALEUR DE L'INTEGRATION 3D

Dès 2007, plusieurs acteurs de l'industrie se sont intéressés aux questions de coûts liés à l'approche 3D en proposant différents modèles (nous pourrions nous référer aux travaux de SEMATECH, EMC3D, Yole Développement ou l'IMEC). Avant d'adresser cette problématique, nous avons choisi de nous intéresser aux questions de valeur associée à ce type d'intégration. Le premier outil que nous avons créé reprend une évaluation des schémas d'intégration. Cet outil a pour objectif de comparer des schémas d'intégration pour une même fonction en rendant compte des effets de Modularité et en fournissant une analyse de la valeur de l'intégration 3D. Les calculs implémentés prennent en compte différentes données à partir de plaques de silicium processées. Nous avons décliné les étapes d'évaluations en cinq étapes de calcul :

- 1<sup>ère</sup> étape: calcul du nombre de puces réalisables sur une plaque de silicium nue. Ce nombre dépend de la surface occupée par cette fonction unitaire et du diamètre effectif du wafer (en effet, deux diamètres sont généralement utilisés 200mm et 300mm). Ce chiffre obtenu est appelé GDPW pour « Gross Die Per Wafer ».
- 2<sup>ème</sup> étape: Evaluation du rendement d'une technologie. Plusieurs modèles sont utilisés dans la communauté VLSI « Very Large Scale Integration » (Stapper Nov. 1991) pour évaluer des rendements de puces. Un rendement est défini comme la probabilité d'obtenir un « wafer » processé avec aucun défaut. On retrouve des modèles du type “standard Poisson” ou Murphy qui prennent en compte différentes distributions de défaut sur le wafer processé. En considérant que le rendement est impacté par la complexité du procédé, de la surface de la puce et le type de technologie utilisée nous avons repris le modèle de Murphy-Seed. A partir de ce rendement, nous pouvons calculer le nombre de « bonnes » puces par plaques de silicium (ce chiffre est plus communément appelé KGD pour 'Known Good Die').
- 3<sup>ème</sup> étape : cette étape consiste à calculer pour chacune des puces le coût qui est associé à la surface occupée par la fonction, le rendement et le coût de la technologie. Le rendement lié à une technologie (qui est gross modo exprimé comme un nombre de défaut par unité de surface), plus une puce sera petite plus le rendement sera élevé.
- 4<sup>ème</sup> étape : le type d'interconnection. Comme nous l'avons vu différents types d'interconnexions existent (Wire-bonding, ball, etc.). L'intégration 3D permet de créer une nouvelle gamme, les TSV définis par leur diamètre et 'Aspect Ratio'<sup>4</sup>. Néanmoins, les opérations de fabrication étant réalisées en usine de fabrication dite front-end, le coût de réalisation des TSV doit-être répercuté sur les puces processés. En effet, contrairement au Wire-bonding qui est réalisé en usine de packaging (dite « Back-End ») sur des puces pré-découpées et fonctionnelles, les TSV sont réalisés à la fois sur des bonnes et mauvaises puces.

---

<sup>4</sup> L'Aspect Ratio : plus communément appelé 'facteur de forme' correspond au rapport hauteur/longueur du Via.

- 5<sup>ème</sup> étape : une fois que chaque puce et la manière de les interconnecter sont définies, il reste à préciser deux éléments : les tests réalisés et le type de packaging utilisé. Différents types de tests existent, pour la réalisation de notre outil nous avons pris en compte le principal test qui permet de vérifier la fiabilité des composants fabriqués et qui est appelé *Electrical Wafer Sorting* ou *EWS*. Le packaging est le lien entre le « monde des puces » et le monde extérieur. Plusieurs types de packaging peuvent être utilisés dont les deux principaux paramètres qui varient sont : la complexité et la surface.

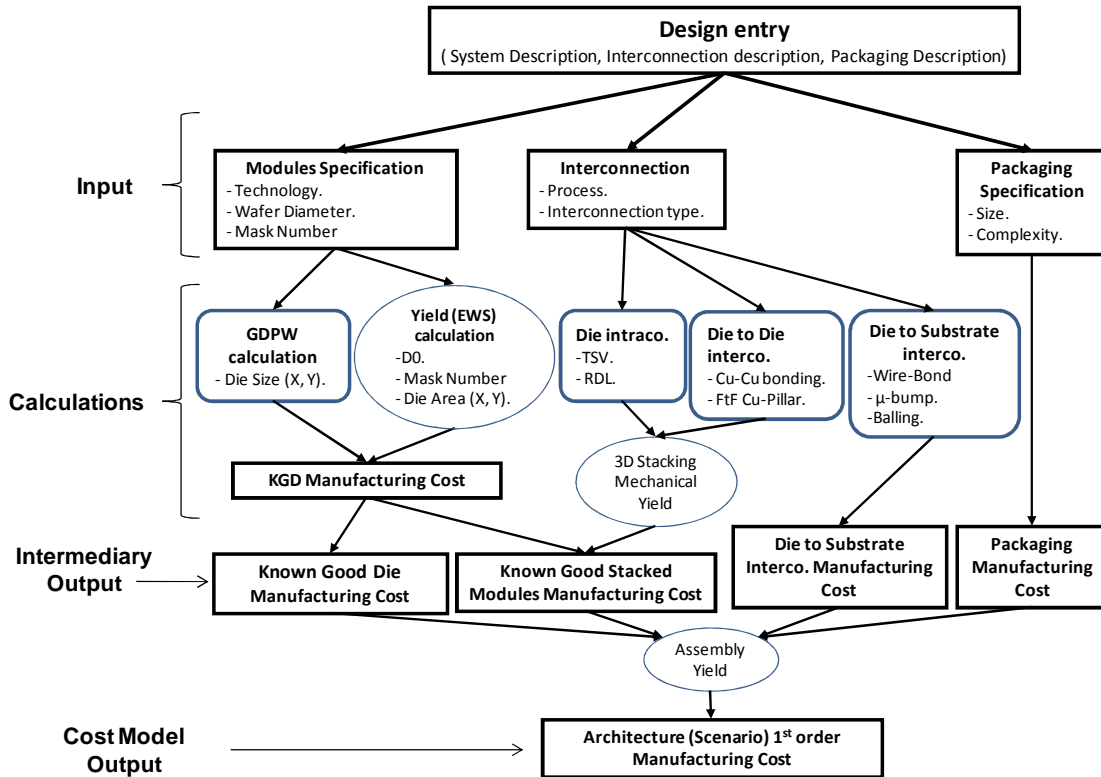


Figure 3.18: Synthèse des paramètres de l'outil pour l'évaluation de scénarii d'intégration.

Nous avons ensuite cherché à utiliser et tester cet outil pour comparer différents scénarii d'intégration pour une même fonction. Nous sommes partis de trois schémas d'intégration en partant d'une intégration de type *SiP - 2D* à une intégration exploitant l'intégration 3D. L'utilisation de cet outil nous a permis de mettre l'accent sur certains points relatifs à l'intégration et son impact sur différents schémas d'intégration. Nous présentons en figure 3.19 le schéma de principe des scénarii considérés sans rentrer dans le détail de chacune des briques technologiques considérées. Le partitionnement pour chaque scénario est réalisé selon le type de fonction à considérer : par exemple, une fonction nécessitant de la puissance de calcul sera réalisée dans les technologies les plus avancées, alors qu'une fonction Radio-Fréquence sera réalisée dans une technologie dédiée. Pour résumer nous avons choisi d'évaluer trois scénarii d'intégration :

- a) Ce scénario propose une intégration de différentes puces avec une approche planaire. Ce type d'approche nécessite d'avoir des substrats de mise en boîtiers assez grands et complexes pour connecter les puces faites avec les technologies les plus avancées.

- b) Ce scénario propose d'utiliser l'intégration 3D pour connecter deux puces. Dans ce cas, le nombre de connexions au substrat de mise en boîtier est plus faible. Nous avons un substrat moins compliqué et plus petit.
- c) Enfin, le troisième scénario propose de superposer deux puces sur une même dernière.

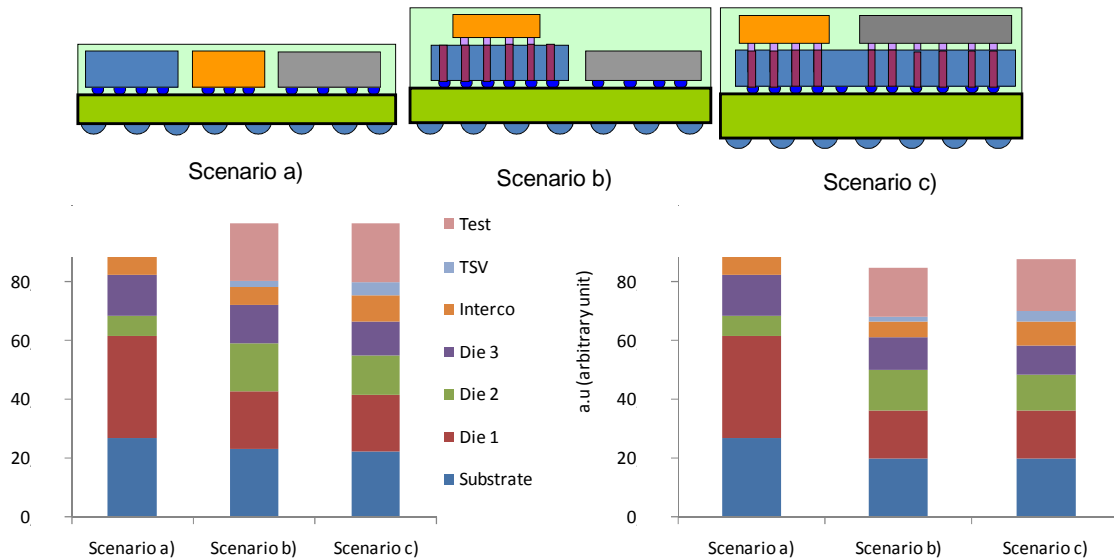


Figure 3.19: Scénarii d'intégration et analyse de la valeur

Une des premières conclusions auxquelles nous sommes parvenus est une analyse de la valeur de chacun des blocs, ce qui a permis de montrer un des principaux effets : la contribution de la brique TSV est relativement faible en termes de coût et génère un effet levier sur la distribution des coûts de la plate-forme. Une seconde conclusion à laquelle nous sommes arrivés est la sensibilité de l'outil aux questions de rendement. Un des points critiques soulevés est que les rendements des technologies d'assemblage auront un impact important sur la structure des coûts des différents schémas d'intégration. Ceci soulève un point particulier qui peut permettre de gérer des stratégies de conception entre des approches consistant à limiter les coûts de cette brique technologique (TSV) par rapport aux stratégies de conception consistant à rendre plus robuste les procédés de fabrication liés à ces nouvelles étapes.

#### 4.3 LA QUESTION DES COÛTS DE FABRICATION.

Une question présente dès le début de l'exploration est celle du coût lié à cette nouvelle brique technologique. Nous avons été amené à travailler sur un deuxième outil, permettant d'évaluer des coûts de production en fonction des procédés mobilisés par une brique technologique. Ce type de modèle est basé sur l'utilisation d'équipements, reprend les principaux items suivants : l'investissement en équipement, la maintenance associée à ces équipements, la consommation de matériaux et gazs (directs et indirects), le personnel mobilisé (ingénieurs et techniciens). On cherche ainsi à évaluer des coûts de procédé et briques technologiques en fonction de volumes de fabrication. Ce type d'analyse permet d'identifier les étapes de procédés

ayant le plus gros impact sur le coût d'une brique technologique. On obtient des courbes ayant la forme suivante

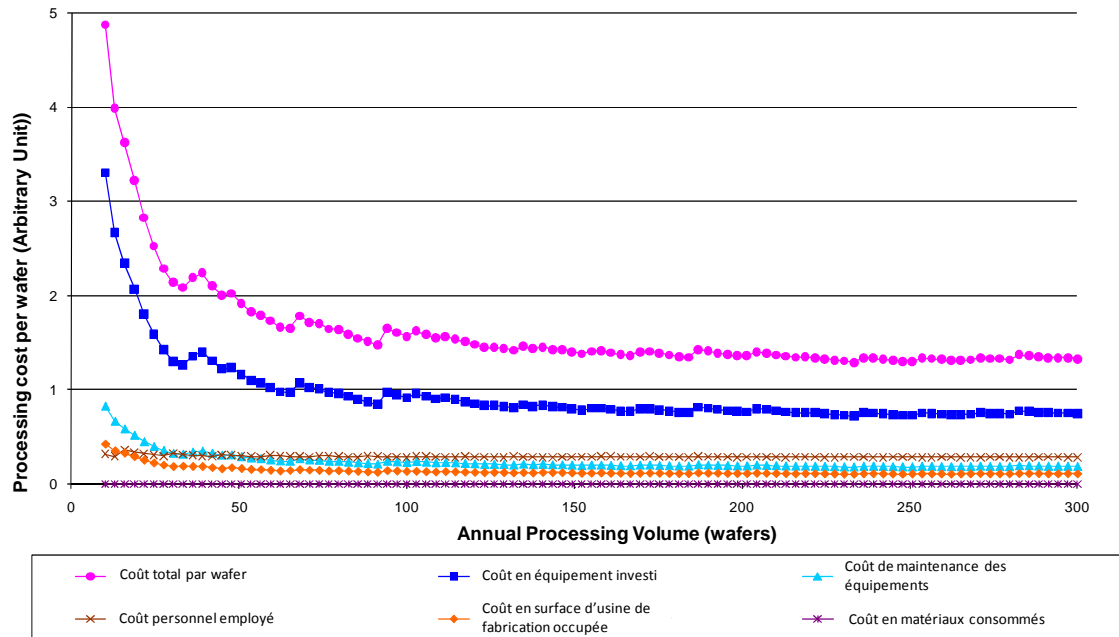


Figure 3.20: Modèle d'évaluation de coûts de production d'une brique technologique

Les résultats obtenus avec ce type d'outils sont à considérer avec prudence. En effet, nous pouvons formuler plusieurs critiques à leur égard. Tout d'abord ceux-ci sont réalisés pour des briques technologiques qui ne sont souvent pas stabilisés en termes de processus de fabrication, ils sont donc basés sur des hypothèses qui ne sont pas robustes.

## 5 UNE EXPLORATION ORGANISEE

L'ensemble des paragraphes précédents nous permettent de montrer qu'il y a énormément d'approches liées à l'intégration 3D, que celles-ci mêlent plusieurs types de métiers. Pour mieux appréhender les enjeux soulevés par cette nouvelle approche, différents acteurs développent des collaborations pour mutualiser les efforts d'exploration et commencer à structurer les différents champs de recherche. C'est ce que nous essayons de présenter dans les paragraphes suivants.

### 5.1 DES PROGRAMMES DE RECHERCHE

Comme nous l'avons vu dans notre partie de synthèse (Partie 1), du fait de l'organisation de la « recherche avancée » de nombreux programmes sont menés avec des organismes de recherche (laboratoires publics ou académiques). En ce qui concerne l'intégration on retrouve deux programmes menés avec des laboratoires de recherche sur des alternatives à priori concurrentes.

D'un côté une exploration avec l'IMEC dans le cadre d'un programme appelé IIAP (IMEC Industrial Affiliation Programs). (Ryckaert and Broeck 2008) où les développements technologiques sont partagés entre différents acteurs. Différents chercheurs industriels (assigne)

de firmes concurrentes intègrent les équipes de recherche de l'IMEC dans le cadre de programmes pré-définis. Les technologies réalisées par l'IMEC peuvent ensuite être transférées. Une des particularités du fonctionnement de ce centre de recherche est sa structure sous forme de « plateforme » technologique. Dans le cadre de l'intégration 3D, l'IMEC étant particulièrement actif sur ce sujet, la collaboration permet à la fois d'avoir des informations sur les avancements technologiques, mais aussi sur les choix de conception réalisés par différents acteurs (le plus souvent des concurrents, fournisseurs).

De l'autre côté il y a une exploration avec le LETI dans le cadre de programmes de recherche (qui s'apparente plus à une relation client-fournisseur), les équipes de recherche du LETI étant chargées de fournir des briques technologiques transférables. Dans ce cas, on retrouve une relation contractuelle du type client-fournisseur. D'ailleurs, les premiers produits comportant des TSV (qui sont des capteurs d'images) sont issus du transfert de cette brique technologique du LETI aux usines de fabrication de STMicroelectronics sur le site de Crolles. Chacune de ces types de collaboration permettent d'explorer des voies de conception souvent concurrentes et des alternatives différentes (entre le Via First, Via Middle, etc.).

Au-delà des programmes principaux entre l'entreprise et les deux centres de recherches européens que sont le CEA-LETI et l'IMEC on retrouve un ensemble de projets collaboratifs de différentes envergures. Ceux-ci permettent de couvrir l'espace de conception lié à l'intégration 3D. Pour illustrer nos propos, le porte-feuille de projets de recherche pour l'intégration 3D est structuré comme une matrice de la manière suivante : un premier axe décrit la nature du financement et le type de contribution du projet (activité de recherche, activité avec un but applicatif, qui doit déboucher sur une industrialisation

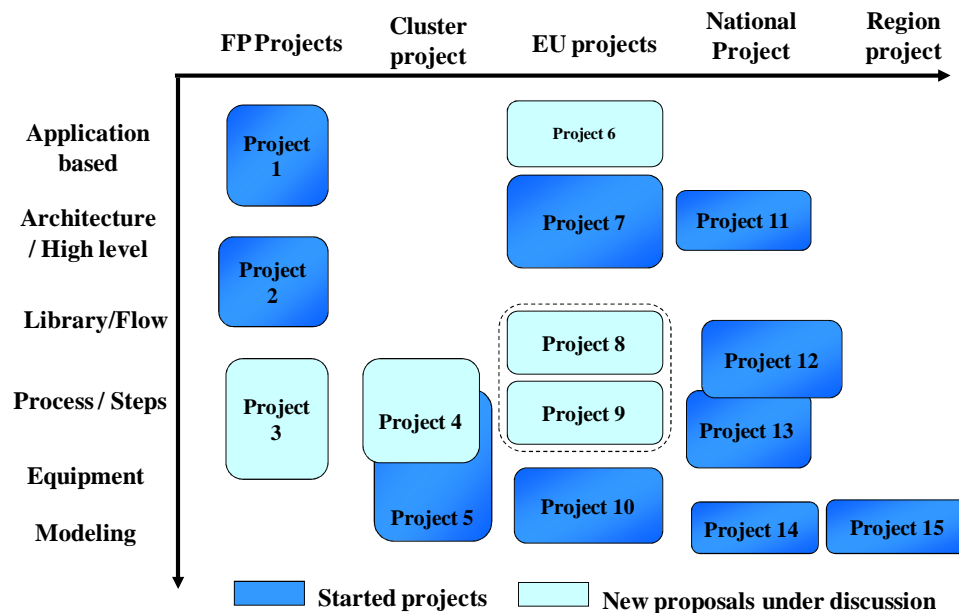


Figure 3.20: Nature et classification des activités de recherche pour l'intégration 3D

Ce type de représentation soulève plusieurs questions. Tout d'abord sur les origines de chacun des projets, ensuite sur la nature des activités réalisées, enfin sur leur type de contribution. En effet, on peut imaginer que certaines connaissances produites par ces activités de recherche

(briques technologiques de produit ou procédés) seront réutilisées pour explorer de nouveaux concepts, mais aussi que l'exploration de ces nouveaux concepts induira la production de nouvelles connaissances. L'ensemble de ces questions feront l'objet d'un travail plus approfondie dans le cadre d'une thèse entre le Centre de Gestion de Mines Paristech et STMicroelectronics pour décrire les dynamiques de connaissances au niveau des porte-feuilles de projets.

## 5.2 DES CONFERENCES SCIENTIFIQUES INTERNATIONALES

L'intégration 3D a longtemps fait l'objet de contributions sporadiques dans des différentes conférences, relatives à des circuits particuliers ou des cas d'application. Néanmoins, l'évolution des contributions liées à l'intégration 3D dans le monde académique et de la thématique dans le monde industriel a donné lieu à la création de session spécifiques dans des conférences : on peut citer notamment IITC (IEEE International Interconnect Technology Conference, en tant que thématique émergente). ou de conférences spécifiques à l'intégration 3D. On peut citer notamment l' « IEEE International 3D System Integration Conference » plus communément appelée 3D-IC créée en 2009. Ces conférences adressent des thématiques très variées liées à l'intégration **3D**. On y retrouve essentiellement quatre thématiques, qui regroupent les enjeux et défis que nous avons précédemment cités:

- La première est liée aux **technologies** nécessaires pour le développement de l'approche 3D que sont les interconnexions à travers le silicium ou « Through Silicon Vias » (TSV), l'amincissement des plaques de silicim (wafer thinning), les technologies d'alignement, de collage, de découpe (dicing). La seconde thématique est liée aux circuits
- La seconde est liée aux **circuits** exploitant une approche 3D. Les systèmes sur puces à base de 3D (plus communément appelés SOC- pour System on Chip), 3D Memory, 3D Processor, 3D DSP, 3D FPGA, les circuits millimétrique ou RF (la 3D intégration pour réaliser de la communication sans fil), les circuits analogiques à base de 3D Integration, 3D biomedical circuits etc.
- **La troisième est liée aux applications industrielles exploitant l'intégration 3D** – les capteurs d'images, les mémoires, les processeurs, les modules de communications sans fil (wireless), les applications biomedical, MEMS/NEMS etc.
- **La dernière est liée aux méthodes et outils de conception 3D Design Methodology.** 3D CAD, 3D synthesis, 3D design flows, Signal and power integrity analysis and design in 3D, 3D thermal design and analysis, test and design for test; 3D mechanical stress and reliability design and analysis, etc.

## 5.3 DES CONSORTIA INDUSTRIELS

Comme nous l'avons vu précédemment, cette nouvelle approche qu'est l'intégration 3D soulève une multitude de question autour des types de technologies à réaliser, des champs de recherche à adresser, des technologies à explorer, des projets à créer et produits à développer. Pour adresser l'ensemble de ces problématiques, des consortia « pré-compétitifs » se sont



structurés, à la fois pour mutualiser les efforts de recherche (et diminuer leurs coûts) mais aussi pour animer des réseaux d'acteurs. Ces consortia sont de différents types et sont structurés à différents niveaux : par activité, par région géographique, par centre de compétences, par type d'activité. Pour illustrer, l'apparition de ces consortia, où l'émergence de programmes relatifs à l'intégration 3D dans des consortia existants nous prendrons des exemples dans chacun des domaines pour montrer comment ceux-ci se proposent d'adresser les problématiques de conception.

Le premier que l'on pourrait citer est l'EMC3D (Equipment and Materials Consortium) qui regroupe un ensemble d'équipementier chargés de proposer et développer des solutions « manufacturable » (acceptable en production industrielle) pour la réalisation de TSV. Ainsi, les projets de R&D consistent à développer de nouveaux équipements, machines pour réaliser des structures d'intégration 3D. Les membres de ce consortium sont répartis en trois catégories : les équipementiers (comme Semitool, EVG, Applied Materials), les fournisseurs de matériaux (comme Rohm&Hass ou Brewer Science) et enfin les centres de recherche (comme le CEA-LETI ou le centre Fraunhofer IZM). On retrouve aussi d'autres consortia qui explorent différentes alternatives de l'intégration 3D, on peut citer par exemple SEMATECH qui a mis en place un programme relatif à l'intégration 3D et des lignes d'équipements à partir de 2008 pour mettre en place des solutions relatifs à l'intégration 3D.

#### 5.4 L'ITRS ET LES PREMIERES « ROADMAPS » TECHNOLOGIQUES INTERCONNECTION TSV

L'ITRS s'est intéressée dès 2007 à l'approche « More than Moore » et a essayé à partir de 2009 à proposer des « roadmaps » relatives à l'intégration 3D. Ce type de feuille de route (Figure 3.21) est relatif à des briques technologiques comme le TSV. Ce qui est défini pour chaque « brique technologique », ce sont des espaces de conception à certaines échelles de temps (2009 - 2012 ou 2012 – 2015). Par exemple, les TSV sont définis par deux dimensions que sont leur diamètre et leur AR (Aspect Ratio) qui est le rapport de la hauteur sur le diamètre d'un TSV. Cette feuille de route permet de définir des « Design spaces » avec des alternatives technologiques décrites par le type de procédé mobilisé, par exemple pour le type de remplissage on retrouve les matériaux précédemment cités que sont le cuivre (Cu), le Tungstène (W) déposé par *Chemical Vapor Deposition* (CVD) ou le Poly-Si. Ce type de représentation partagée par les différents acteurs de l'industrie a un effet prescriptif sur le type de technologies à développer, ce qui permet de structurer les champs de recherche et les alternatives à explorer.

Néanmoins, ce type de feuille de route technologique soulève plusieurs questions par rapport aux espaces vides : sont-ils à explorer, existe-t-il potentiellement des applications exploitant des espaces non encore couverts ?

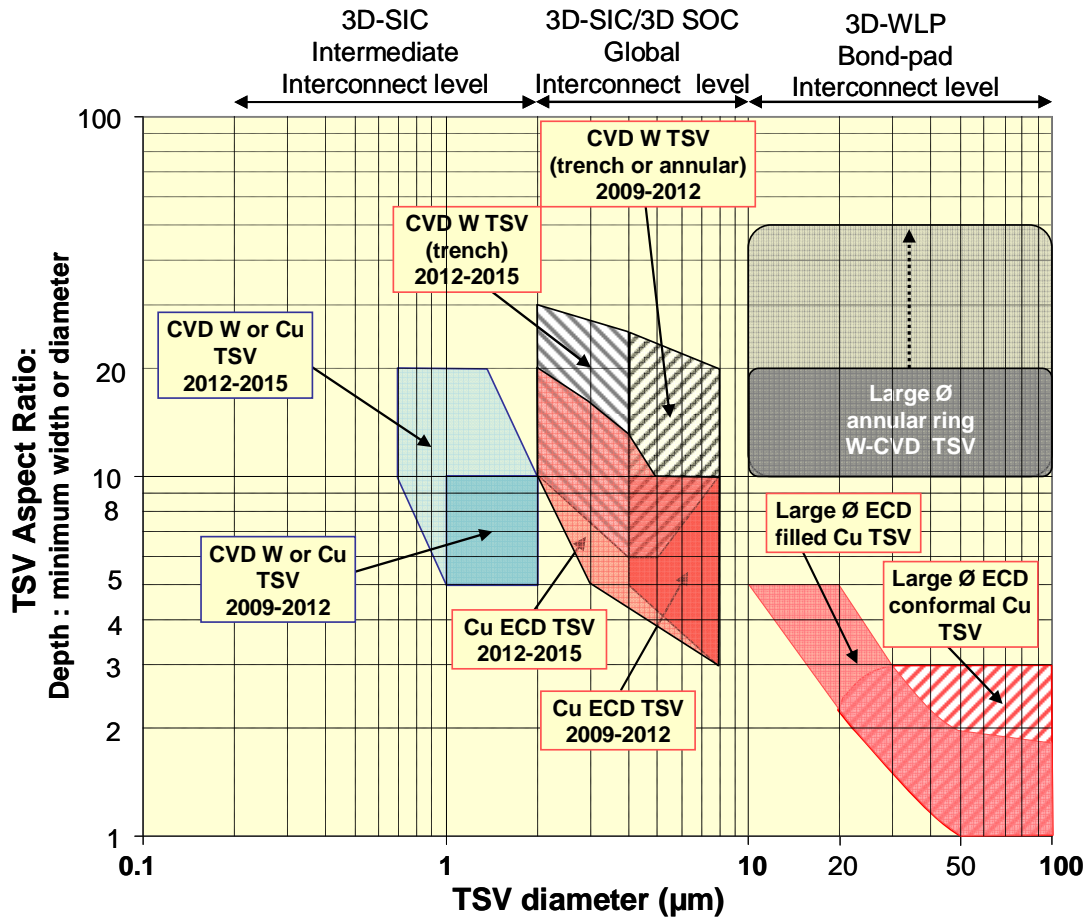


Figure 3.21: Options technologiques pour les TSV en fonction du diamètre et « Aspect Ratio »,  
(3D Interconnect Roadmap) (ITRS 2009 EDITION)

## 6 QUELQUES PREMIERES CONCLUSIONS

En conclusion, nous pouvons voir que les différentes explorations menées dans les années soixante-dix ont laissé place à un vaste champ de recherche et développement. L'apparition de ce champ est principalement dû à la convergence entre des besoins fonctionnels au niveau de produits, mais aussi à la maturité de certaines technologies. Ainsi, en trois ans de 2007 à 2010, l'« intégration 3D » au sein de STMicroelectronics est passée du concept à la réalisation et fabrication de premiers produits. Ainsi, la thématique « 3D-Integration » est devenue un programme qui mobilise à la fois des activités de « recherche avancée », développement, fabrication et la mobilisation de différents centres de profits qui considèrent des scénarii d'intégration exploitant ce type d'approche. Néanmoins, comme nous l'avons vu, les enjeux soulevés par cette approche sont beaucoup plus intrusifs qu'ils ne pouvaient paraître au départ. Comme toute nouvelle approche, celle-ci a nécessité d'explorer de manière très large un ensemble d'alternatives technologiques souvent concurrentes. Cette exploration a soulevé des enjeux forts de ce type d'intégration à la fois au niveau de la conception des structures, du développement de nouvelles briques technologiques et la proposition de nouveaux produits. L'exploration de ce nouvel espace de conception a permis l'apparition de nouveaux acteurs dans l'éco-système. Plus

encore, l'intervention de différents consortia d'acteurs permettent de structurer les champs de recherche et d'avoir un aspect prescriptif sur le type de technologies à explorer.

Ainsi, l'intégration 3D n'en est qu'à ces balbutiements et beaucoup de questions restent ouvertes : quelle supply-chain pour intégrer différentes puces ? Quels modèles économiques ? Certains acteurs joueront-ils le rôle d'intégrateurs en ne réalisant que l'assemblage de composants ? Quels outils CAD seront disponibles pour réaliser ce type d'architecture ? Quel type d'intégration 3D pour quelle application ? A ces questions, nous n'apportons que des réponses partielles en décrivant ce qu'il s'est passé. Ainsi alors qu'au commencement de cette exploration l'approche 3D était une technologie de substitution à l'intégration 2D, celle-ci a ouvert de nouveaux champs de recherche en rupture par rapport aux approches classiques à la fois en terme d'applications et de technologies.

**REFERENCES :**

- Alcorn, G. E., K. A. Kost, et al. (1982). "X-ray spectrometer by aluminum thermomigration,." IEDM, International Electron Devices Meeting 82: pp. 312
- Batude, P. (2009). Intégration à trois dimensions séquentielle : Etude, fabrication et caractérisation. Laboratoire D'Electronique et de Technologie de l'Information, Ecole Doctorale: « Electronique, Electrotechnique, Automatique, Traitement du signal ». Doctorat: 177 pages.
- Beyne, E. and B. Swinnen (2007). 3D System Integration Technologies IEEE International Conference on Integrated Circuit Design and Technology, 2007. ICICDT '07. .
- Blum, A. (1989). " Integrated wiring system for VLSI, US Patent n° 4,802,062 ".
- Cadix, L., A. Farcy, et al. (2009). Modelling of Through Silicon Via RF performance and impact on signal transmission in 3D integrated circuits IEEE International Conference on 3D System Integration, 2009. 3DIC 2009. .
- Campbell, P. K., K. E. Jones, et al. (1991). "A silicon-based, three-dimensional neural interface: manufacturing processes for an intracortical electrode array" IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 38 758.
- Coudrain, P. (2009). Contribution au développement d'une technologie d'intégration tridimensionnelle pour les capteurs d'images CMOS à pixels actifs. Spécialité : Microélectronique, Capteurs d'Images. Toulouse, L'Université de Toulouse, délivré par l'Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace. Thèse: 232 pages.
- Enquist, P., G. Fountain, et al. (2009). Low Cost of Ownership scalable copper Direct Bond Interconnect 3D IC technology for three dimensional integrated circuit applications IEEE International Conference on 3D System Integration, 2009. 3DIC 2009. .
- Henry, D., S. Cheramy, et al. (2009). 3D integration technology for set-top box application. IEEE International Conference on 3D System Integration, 2009. 3DIC 2009. , San Francisco.
- ITRS (2009 EDITION). "International Technology Roadmap For Semiconductors." INTERCONNECT: 89 pages.
- Johansson, T., A. Masoud, et al. (1992). "A three-dimensional architecture for a parallel processing photosensing array" IEEE Transactions on Biomedical Engineering 39, : 1292
- Lee, J. Y. M., R. H. Brown, et al. (1981). Aluminium thermomigration technology for 3-Dimensional Integrated Circuits. International · Electron Devices Meeting.
- McIlrath, L., W. Ahmed, et al. (2009). Design tools for the 3D roadmap International Conference on 3D System Integration, 2009. 3DIC 2009. IEEE
- Morillon, B. (2002). Etude de la thermomigration de l'Aluminium dans le Silicium pour la réalisation industrielle de murs d'isolation dans les composants de puissance bidirectionnels. Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS-CNRS). Toulouse, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. Thèse: 239 pages.
- Pfann, W. G. (1955). "Temperature gradient zone melting." Metals Transactions AIME 203(961).

- Rousseau, M. (2009). Impact des technologies d'intégration 3D sur les performances des composants CMOS. Conception des Circuits Microélectroniques et Microsystèmes. Toulouse, Doctorat de l'université de Toulouse Thèse: 246 pages.
- Ryckaert, V. and K. V. d. Broeck (2008). "IMEC Industrial Affiliation Program (IIAP) as IPR model to set up nanotechnology research and patenting." World Patent Information 30: pp. 101 - 105.
- Stapper, C. H. (Nov. 1991). "On Murphy's yield integral [IC manufacture]." IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing Vol. 4(Issue 4): Page(s):294 - 297.
- Stuby, K. P. (1972). Hourglass-Shaped conductive connection through semiconductor structures, International Business Machines Corporation. 3,648,131: 1-8 pages.
- Whitman, M. G. (1926). "Elimination of salt from sea-water ice." American Journal of Science Vol. 11.
- Yasumoto, M. (1986). "Process of fabricating three-dimensional semiconductor device, US Patent n° 4,612,083".
- Yole Développement (2007). "3DIC & TSV Report - Cost, Technologies & Markets." November 2007 – Last Update.
- Yole Développement (Final Report -December 2009). "Via First vs. Via Last? The first study to understand 3D integration scenarios, ."

---

## ***Partie 3- Chapitre 2***

---

*Monographies d'Activités de recherche*

-  
*Relecture d'une trajectoire : Les capteurs d'images CMOS et la  
recherche avancée*

---

---



*Willard Boyle [à gauche] and George Smith [à droite] en 1974 avec un des premiers capteurs d'image  
(Photo: Alcatel-Lucent/Bell Labs).*



# Table des Matières

<b>1 Introduction .....</b>	<b>224</b>
<b>2 Les capteurs d'images « Image sensors » 2D.....</b>	<b>225</b>
2.1 Le marché des capteurs d'images: applications & dynamiques.....	225
2.1.1 Le produit : Module « image sensor » et ses applications. ....	225
2.1.2 Principales tendances : Marché & acteurs .....	227
2.1.3 Le produit image sensor destiné aux téléphones portables.....	227
2.2 Généalogie des produits : Etat de l'art. ....	229
2.2.1 Deux approches technologiques : CCD (Charge-Coupled Device) vs CMOS.....	229
2.2.2 Les éléments constitutifs d'un capteur d'images classique. ....	230
2.2.3 Les facteurs de mérite d'un imageur. ....	232
<b>3 Les capteurs d'image chez STMicroelectronics.....</b>	<b>234</b>
3.1 Historique & enjeux. ....	234
3.2 Les Roadmap : Logiques de conception. ....	236
3.3 Organisation : activités de développement et de recherche. ....	237
<b>4 Les capteurs d'images 2D et 3D : modélisation des raisonnements de conception.....</b>	<b>238</b>
4.1 La construction de Co : 1 <sup>er</sup> concept.....	238
4.2 Une première approche : l'optimisation du produit & des procédés. ....	240
4.3 Des innovations incrémentales qui révisent l'architecture et les procédés utilisés.....	241
4.4 Des innovations disruptives : de nouvelles alternatives.....	243
4.4.1 L'alternative « Above IC ». ....	244
4.4.2 L'intégration 3D. ....	245
<b>Conclusion. ....</b>	<b>246</b>
<b>Références.....</b>	<b>247</b>



## 1 INTRODUCTION

Dans le cadre de notre thèse débutée en Octobre 2007 et intitulée « Evaluation et pilotage des projets de R&D Avancée », nous avons choisi de commencer notre projet de recherche par un cas d'étude consacré aux « *imagers* » (ou capteur d'image CMOS). Ce choix est motivé par deux éléments essentiels liés à notre sujet de thèse. D'une part les capteurs d'images sont liés à l'approche « *More than Moore* » qui consiste à fonctionnaliser les substrats à base de silicium (en effet, le Silicium est parfaitement adapté à la détection de photons dans le spectre visible puisqu'il permet de détecter les longueurs d'onde inférieures à 1,1 $\mu$ m.). D'autre part, à notre arrivée au sein de l'équipe de recherche avancée un sujet de recherche avancée initié en 2006 consistait à explorer des architectures originales pour ce type de capteurs. Ainsi l'objectif a travers ce cas d'étude intitulé « capteur d'images 2D/3D » est de se familiariser avec les activités de recherche exploratoire de STMicroelectronics dans le cadre du développement de produits More than Moore (diversification des fonctionnalités) et d'évaluer l'utilisation de certains outils de gestion pour ce type de projet de recherche.

Nous nous sommes intéressés dans un premier temps à décrire le produit « capteur d'image », ses applications et facteurs de mérite avant de montrer en quoi les efforts de conception sont portés sur la plate-forme technologique qui constitue le capteur « photosensible ». Cette plateforme est appelée « Image Sensor » ou « génération d'IMG<sup>1</sup> ». Suite à cela, nous avons analysé les raisonnements de conception pour montrer comment les activités de recherche sont pilotées par des raisonnements économiques. Suite à cela, pour comprendre les liens entre activités de développement et recherche, nous aborderons les différentes alternatives technologiques envisagées à travers une modélisation de type C-K. Nous concluons cette partie sur les premiers résultats obtenus dans ce cas d'étude et les perspectives en terme d'attente par rapport aux activités de la Business Unit, des équipes de développement et de recherche avancée.

**Notre protocole et mode d'action (positionnement par rapport aux activités de recherche).** Pour comprendre au mieux l'organisation au sein de l'entreprise et les différents points technologiques, nous avons entrepris une série d'entretiens avec différents intervenants de la partie R&D Avancée, du Développement de technologie et procédés, de la partie 3D et du centre de profit (Business Unit). L'objectif de ces entretiens était de comprendre la nature des objets manipulés, de qualifier leur organisation, leurs activités et les interactions entre chacune des entités. Nous avons en tout et pour tout rencontré une vingtaine de personnes. Suite à cela, nous nous sommes attachés à modéliser le raisonnement de conception pour ce type de projet, les étapes, l'organisation et les outils qui y sont associés. Ceci nous a permis de détailler les différentes phases de projet, les choix technologiques les contraintes et les acteurs associés à chaque projet.

---

<sup>1</sup> IMG est la contraction d'Imageur ou « Image Sensor ».

## 2 LES CAPTEURS D'IMAGES « IMAGE SENSORS » 2D.

### 2.1 LE MARCHÉ DES CAPTEURS D'IMAGES: APPLICATIONS & DYNAMIQUES.

#### 2.1.1 Le produit : Module « image sensor » et ses applications.

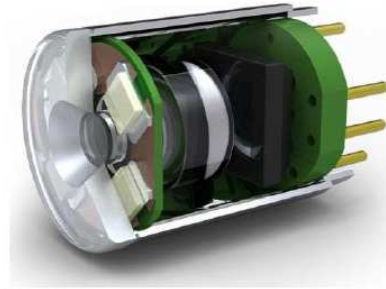
Les capteurs d'images sont des dispositifs permettant de transcrire une scène observée en un signal électronique. Ils sont présents dans notre vie quotidienne à travers les photocopieurs, les appareils photo et caméras numériques ou encore les fax. A l'heure actuelle, les capteurs d'images connaissent une croissance exponentielle, appuyée par le développement et la démocratisation des nouvelles technologies de l'information. Le recours à l'image est devenu systématique dans notre société, qu'il s'agisse d'applications professionnelles, scientifiques, ou de la vie quotidienne. Les applications futures seront très nombreuses, leur champ n'étant limité que par l'imagination des concepteurs. Pour illustrer les domaines d'utilisation de ce produit, nous prendrons deux exemples que sont l'industrie automobile et médicale.

Dans l'industrie automobile, le nombre de capteurs d'images est en constante augmentation avec un passage de deux à six capteurs utilisés par véhicule, pour différentes applications qui permettent d'améliorer la sécurité passive des passagers comme la vision de nuit, l'aide au stationnement ou les détecteurs de franchissement de ligne (cf. Figure 4.1).



Un autre exemple que l'on peut considérer est lié au monde médical. Les sociétés GIVEN IMAGING et BC Tech ont mis au point une capsule permettant de réaliser des endoscopies. Ce type de capsule contient une minuscule caméra vidéo couleur dont la taille est celle d'une grosse gélule que le patient avale et qui parcourt son appareil digestif en totalité. L'imageur est un capteur CMOS qui permet la transmission de l'image électronique. La capsule vidéo-endoscopique PillCam™ est un dispositif médical de la taille d'une gélule, donc aisément ingérable par le patient. Trois éléments principaux composent cette capsule : une optique et son complexe opto-électronique, deux batteries à l'oxyde d'argent, pour assurer l'énergie du système ; un émetteur radio-fréquence numérique ASIC<sup>2</sup> et son antenne.

<sup>2</sup> ASIC : Application specific IC



videoScout BC TECH

Figure 4.2 : Application médicale des capteurs d'image pour endoscopie  
Given Imaging [gauche] et BC Tech [droite]

La technologie d'imagerie repose sur quatre axes : la technologie de capteurs d'image sur silicium, le traitement numérique de l'image, la conception optique, la conception et l'assemblage mécanique. De manière plus fréquente, un module capteur d'image que nous représentons sur la figure 4.3 est composé de plusieurs parties que sont, une partie « packaging » qui constitue la coquille du module {1}, les éléments d'optiques composés de lentilles qui permettent de focaliser les rayons lumineux sur le capteur {2} et la puce photosensible appelée imageur ou IMG<sup>3</sup> {3}. Ainsi, la conception de ce type de module requiert des compétences variées en conception analogique et digitale, en optique, mécanique et procédés de type CMOS. C'est sur le capteur d'image CMOS {3} que nous focaliserons la suite de notre étude.

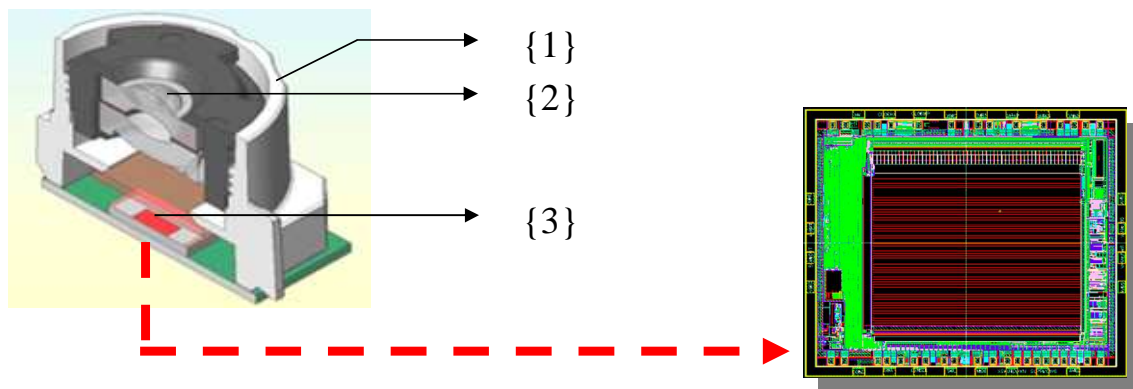


Figure 4.3 : Définition d'un capteur d'image (plus communément appelé « imager », IMG)

<sup>3</sup> Nous utiliserons par la suite le sigle IMG pour désigner le capteur d'image ou Image Sensor.

### 2.1.2 Principales tendances : Marché & acteurs

#### Les segments de marchés adressés par ce type de produit.

Si l'on observe l'évolution de la taille du marché des capteurs d'images on peut remarquer plusieurs tendances. La première est l'augmentation exponentielle du nombre de capteurs vendus par an avec une croissance constante du chiffre d'affaire représentant ce marché, la seconde est la concentration que représentent les ventes réalisées en ce qui concerne les téléphones portables (cf. Figure 4.4).

Au total, pour l'année 2007, le marché des capteurs d'images représente 1.2 Milliards de pièces vendues toutes applications confondues. Une étude de marché réalisée par TSR (Techno System Research) (TSR(TechnoSystemsResearch) 2007) montre que les ventes en ce qui concerne les téléphones portables représentent 60 à 75% des capteurs vendus dans le monde les autres types de marchés existants se répartissent les 30% restant de vente des capteurs pour d'autres applications que sont les appareils photos, les webcams, les cameras de sécurité, les souris, l'automobile et le médical en Figure 4.4.

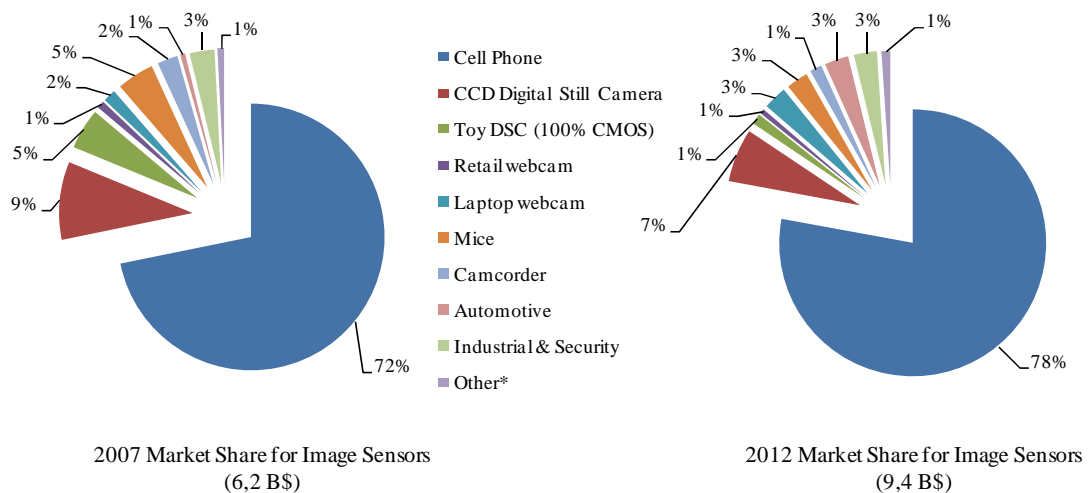


Figure 4.4 : Répartition des applications en volume de capteurs d'images vendus (Jaffard 2008)

### 2.1.3 Le produit image sensor destiné aux téléphones portables.

Du fait de la prépondérance des capteurs destinés aux téléphones portables, nous axerons la suite de notre présentation sur ce type de produits. A travers cette partie, nous nous proposons de définir les principaux acteurs de ce marché que sont les constructeurs ou fournisseurs de capteurs et les intégrateurs de ce type de modules.

### Les parts de marchés entre constructeurs.

En ce qui concerne la répartition des parts de marchés entre constructeurs de téléphones portables (OEM<sup>4</sup>), 40% du marché est détenu par NOKIA (leader mondial sur les différents segments d'appareils vendus) vient ensuite Samsung & Motorola (cf. Figure 4.5). La présence de modules appareils photos sur les téléphones cellulaires sera croissante, puisqu'en 2008 elle représentera à peu près 70% du marché des capteurs d'images. Dans les téléphones portables, de nouveaux segments apparaissent depuis peu, comme les smartphones avec de nouveaux acteurs comme RIM<sup>5</sup> (qui produit et commercialise le BlackBerry) ou Apple (avec l'iPhone).

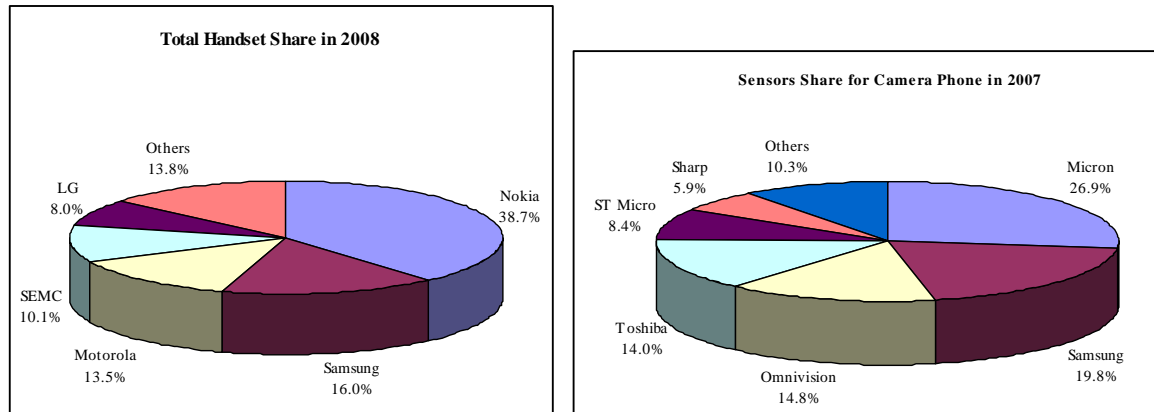


Figure 4.5 : Parts de marchés OEM & fournisseurs de modules

Si nous nous intéressons plus particulièrement aux fournisseurs de modules, les principaux acteurs sont Micron, Samsung, Omnivision, Toshiba et STMicroelectronics. Ces constructeurs vendent des modules caractérisés par leurs fonctionnalités que sont les dimensions du module, sa résolution, la présence d'Auto-Focus, sa puissance de fonctionnement. En 2006 et 2007, Micron a acquis la plus grande part de marché, en fournissant des modules à Motorola. Micron est suivi par Omnivision, Toshiba et STMicroelectronics. Ces deux derniers ont augmenté leurs parts de marchés essentiellement en fournissant des modules à Nokia.

On peut souligner qu'un des éléments essentiels et différenciant pour la compétitivité des différents constructeurs est le « time to market ». En effet, une présérie chez un client pour ce type de marché est souvent constituée de volumes de l'ordre du million de pièces, un marché entier assure un volume de vente de plusieurs dizaines de millions de pièces. Ainsi, la perte ou le gain d'un marché permet donc de vendre un volume de pièces important et donc d'avoir un avantage concurrentiel conséquent. Après avoir présenté le cadre de notre étude en terme de marché, sa segmentation et ses acteurs (OEM, intégrateurs, fournisseurs de modules), intéressons-nous au produit proprement dit, son évolution et ses facteurs de mérite.

<sup>4</sup> OEM : Original Equipment Manufacturer.

<sup>5</sup> RIM : Research In Motion.

## 2.2 GENEALOGIE DES PRODUITS : ETAT DE L'ART.

Pour plus d'informations en ce qui concerne la généalogie des Imageurs leurs évolutions et les améliorations réalisées sur chacune des briques élémentaires que constitue l'élément pixel, vous trouverez en Annexe une frise technologique chronologique<sup>6</sup>.

### 2.2.1 Deux approches technologiques : CCD (Charge-Coupled Device) vs CMOS

Deux technologies se partagent la grande majorité des capteurs d'images numériques. Les CCD (Charge-Coupled Devices) utilisés depuis une trentaine d'années ; et les capteurs CMOS, dont le fonctionnement est connu depuis la même époque, mais dont l'utilisation est beaucoup plus récente (une dizaine d'années seulement). Les deux familles reposent sur des principes de fonctionnement différents mais sont souvent en concurrence. Il existe deux grandes catégories de capteurs d'images : les dispositifs à transferts de charges ou capteurs CCD<sup>7</sup> et les capteurs d'images CMOS<sup>8</sup>. Les capteurs CCD permettent des niveaux de performances élevés mais présentent une consommation plus importante que le second type de capteur. Les capteurs CMOS n'atteignent pas les performances des dispositifs CCD mais sont réalisés à faible coût et permettent l'intégration d'autres fonctions électroniques.

#### **Le capteur CCD.**

Ce type de capteur est le fruit des travaux de Boyle et Smith des Laboratoires Bell en 1970, ce qui leur a valu le prix nobel de physique en 2009. Il a connu un effort de recherche important depuis cette époque, lui permettant d'atteindre d'excellentes performances. Il est depuis plusieurs décennies le capteur de choix pour les applications scientifique, et a fait son apparition dans les systèmes grand public à partir des années 1980, notamment chez Sony. L'amélioration continue de ces capteurs a amené la technologie à un stade très mature. C'est pourquoi à l'heure actuelle, elle est employée dans de très nombreuses applications grand public, équipant caméscopes, appareils photos numériques, et même certains téléphones portables (cf. figure 4.5).

#### **Le capteur APS (Active Pixel Sensor) basé sur des technologies CMOS.**

Plus récemment, de nouveaux capteurs basés sur des technologies CMOS ont vu le jour : ce sont les capteurs CMOS, appelés également APS (Active Pixel Sensors), qui intègrent des composants actifs à l'intérieur du pixel, en plus de la zone photosensible. Ils bénéficient des progrès réalisés par la miniaturisation et ont ainsi atteint depuis les années 1990 une forte densité d'intégration. Ils ont l'avantage de pouvoir intégrer au sein de la puce toutes les fonctions électroniques nécessaires au traitement de l'image. La différence fondamentale entre les APS, Active pixels Sensors, et les CCD réside dans la manière de convertir les charges photogénérées en tension. Dans le cas des APS, cette conversion s'effectue à l'intérieur même du pixel (cf. figure 4.5).

---

<sup>7</sup> Charge Couple Device

<sup>8</sup> Complementary Metal Oxide Semiconductor

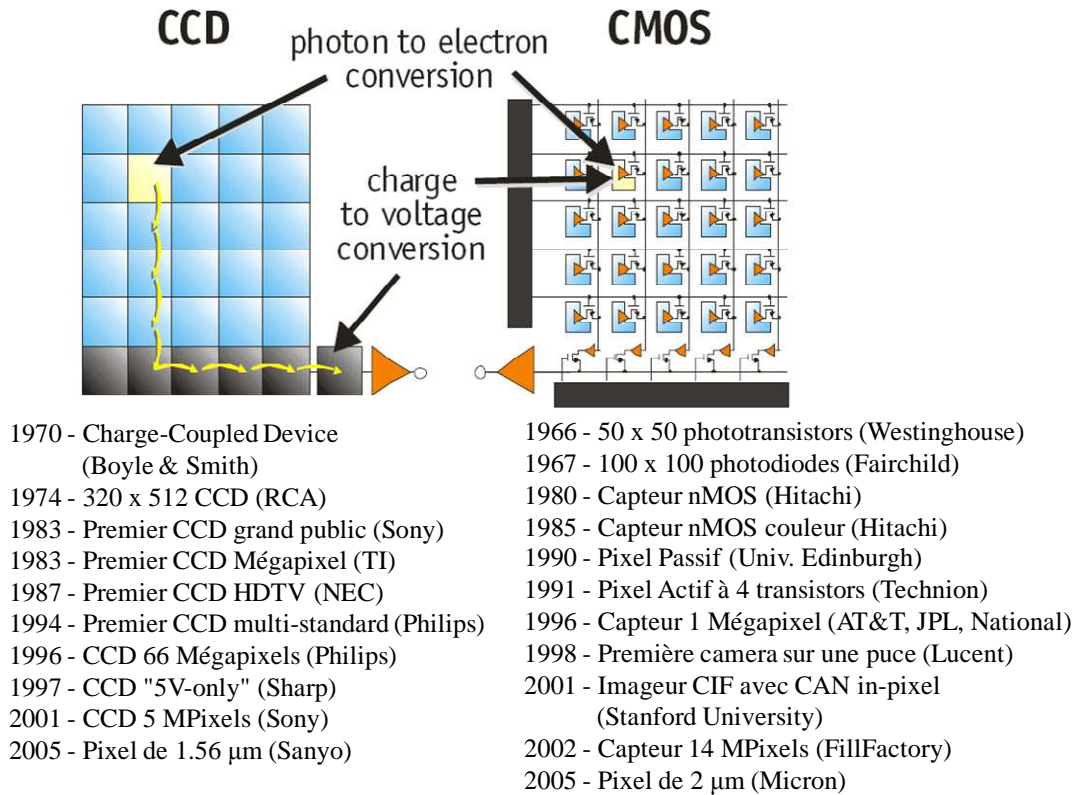


Figure 4.5 : Principe et chronologie « CCD Image sensor » vs « CMOS Image sensor » (Coudrain 2009)

**Le capteur APS ou CCD.** L'apparition des capteurs CMOS est ainsi plus ancienne que celle du CCD, mais il a fallu attendre 1996 avant de produire le premier capteur à mégapixels, soit près de 13 ans après son équivalent en technologie CCD. Aussi, très peu de progrès ont été réalisés pendant les années 1970 et 1980, alors que les CCD avaient déjà le vent en poupe. La présence de transistors a très longtemps limité l'utilisation des APS, car les tailles de pixels n'étaient pas comparables à celles des CCD. A mesure que s'est déroulée la miniaturisation des circuits intégrés, notamment la taille des grilles des transistors MOS, la réalisation et l'utilisation de ces capteurs sont devenues de plus en plus réalistes. Pour la suite de notre exposé, nous nous intéresserons essentiellement aux capteurs de type CMOS.

### 2.2.2 Les éléments constitutifs d'un capteur d'images classique.

Un capteur d'image en technologie CMOS est constitué d'un empilement de couches chacune ayant des fonctions bien spécifiques (Figure 4.8). Tout d'abord, l'aire photosensible est la surface qui est sensible à la lumière. On définit le facteur de remplissage ou *Fill Factor* (FF), comme le pourcentage d'aire du pixel qui est sensible à la lumière (rapport de la surface photosensible sur la surface totale du pixel). Le pixel actif contenant un amplificateur (partie composée de transistors et non sensible à la lumière), le facteur de remplissage est d'environ 25% à 30%. On arrive cependant dans les technologies les plus avancées à monter jusqu'à 60% de Fill Factor sur chacun des pixels, ceci signifie qu'en équivalent, 60% de la surface de la matrice de pixels est dédiée à la capture des photons et 40% au traitement de l'information reçue (cf. Figure 4.7).

Voici la photographie de ce que l'on appelle un imageur ou « capteur d'images ». Celui-ci est composé d'une partie SRAM (jouant le rôle de mémoire et servant à la distribution de l'information), d'une colonne ADC (Analog to Digital Converter) servant à transformer l'information analogique en numérique, d'I/O<sup>9</sup> qui permettent de gérer le signal entrées/sorties. La matrice photosensible est composée de pixels et est définie par sa résolution.

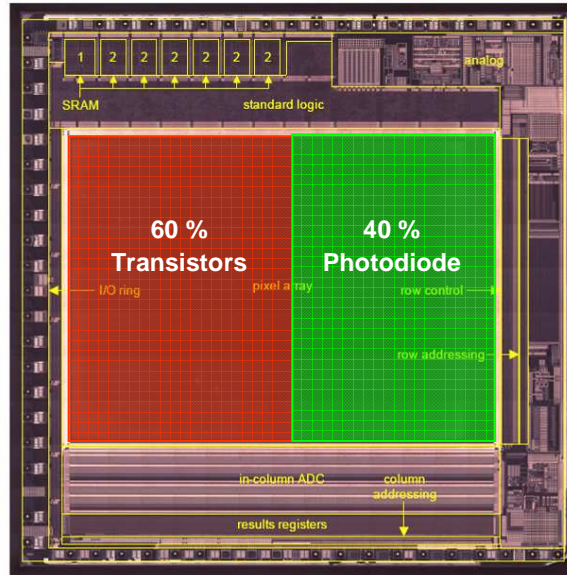


Figure 4.7: Capteur d'images (3.1 Megapixel, 1.75  $\mu\text{m}$  Pixel Size) CMOS Image Sensor (CHIPWORKS 2008)

L'objet de notre étude sera la partie unitaire de la matrice qu'est le pixel qui est construit de la manière suivante. En partant d'une plaque de silicium nu, une première couche de silicium est épitaxié. Au dessus de cette couche, on dépose de l'oxyde thermique ainsi qu'une couche de nitrure de silicium. Cette dernière empêche la formation du siliciure qui est une couche absorbante. Puis il y a du Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> déposé à plus haute température qui sert de couche d'arrêt lors de la gravure des contacts, afin de ne pas graver une partie des STI (Shallow Trench Isolation) qui seront par la suite remplis de métal. Enfin on dépose différentes couches d'oxyde dont certaines contiennent du phosphore, ce qui permet de piéger les contaminants ioniques. Au final une couche de passivation (en nitrure de silicium) recouvre le circuit pour le protéger des agressions extérieures (humidité, rayures). Les filtres colorés sont alors déposés, puis les microlentilles servant à focaliser la lumière au centre de la photodiode.

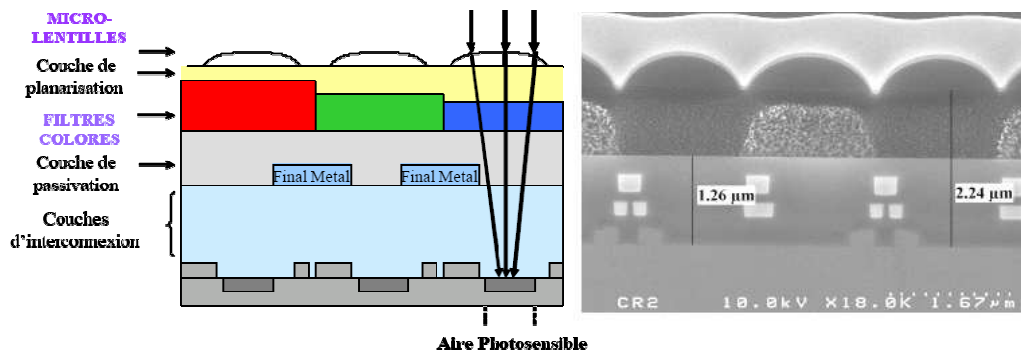


Figure 4.8: Vue en coupe d'un capteur photosensible.

<sup>9</sup> I/O : Input / Output



### 2.2.3 Les facteurs de mérite d'un imageur.

Nous avons ainsi décrit les principales étapes de fabrication d'un capteur d'images, ce qui nous permet de mieux appréhender la composition du produit, intéressons-nous maintenant aux principaux paramètres caractéristiques des capteurs d'images CMOS. Certains paramètres sont utilisés afin de quantifier les capacités fonctionnelles et décrire les caractéristiques des capteurs d'images. On distinguera deux types de critères de performances : ceux décrivant le capteur et ceux décrivant l'élément unitaire sur lequel est basé cette plateforme technologique, le pixel.

#### Au niveau capteur:

- ✓ **La résolution:** C'est un des principaux facteurs de performances associés aux capteurs d'images, elle correspond au nombre de pixels de l'image, l'idée erronée partagée par les consommateurs étant qu'une bonne résolution améliore la qualité de l'image. Ainsi, au fur et à mesure des années, il y a eu une course à l'augmentation de la résolution de ce type de capteurs, du CIF (pour les capteurs à 0.18 Mpixels) puis VGA pour 0.3 Mpixels, SVGA pour 0.5 Mpixels, MP pour 1Mpixels, UXGA pour 1.9 ou 2 Mpixels et enfin les 3 et 5 Mpixels.

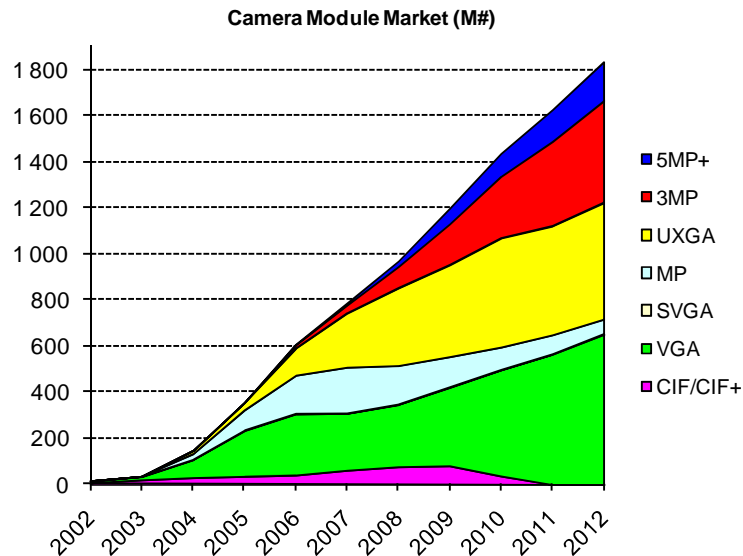


Figure 4.9: Répartition des résolutions de capteurs vendus

Au fur et à mesure des générations technologiques, les produits ont intégrés

- ✓ **Le rapport Signal sur Bruit (SNR ou Signal to Noise Ratio) :** Le SNR calculé correspond au rapport signal sur bruit. Dans la majorité des spécifications, l'objectif est d'obtenir un SNR égal à 10 pour une certaine illumination (par exemple : 240 lux). Améliorer les performances d'une technologie consiste donc à diminuer l'illumination pour laquelle un SNR de 10 est obtenu (par exemple pour un pixel de taille 1,75  $\mu\text{m}$ )

**Au niveau du pixel:** un ensemble de facteurs de mérite permettent d'évaluer le pixel.

- ✓ **La taille du pixel:** La taille des pixels diminue d'un facteur 1,25 tous les deux ans. Ainsi en 2001 on avait des pixels de  $5.6\mu\text{m}$  de longueur en production et en 2007 les principaux fabricants de capteurs sont capables en 2009 de produire des pixels de  $1.75\mu\text{m}$  de longueur. Cette diminution de la taille du pixel permet d'augmenter la résolution du capteur pour une même taille d'application.
- ✓ **Le facteur de remplissage (Fill Factor) :** Il correspond au pourcentage d'aire du pixel qui est effectivement sensible à la lumière (taille de la photodiode par rapport à celle du pixel). En effet, un pixel est composé d'une surface photosensible et de transistors de lecture, un des moyens d'augmenter cette surface photosensible consistera à mutualiser les transistors de lectures entre différents pixels.
- ✓ **L'efficacité quantique (ou Quantum Efficiency, QE) :** C'est une quantité fondamentale. Elle exprime le rapport entre le nombre de paires électron-trou créés et le nombre de photons incidents.
- ✓ **La diaphonie (plus couramment appelée cross-talk) :** Les photons arrivant sur un pixel vont générer des paires électrons/trous à la profondeur à laquelle ils sont absorbés et sont stockés dans un puits de potentiel. Par contre, s'ils se font absorber au-delà de la ZCE (Zone de Charges d'Espace), ils vont diffuser aléatoirement dans le substrat. Le cross talk est cette quantité de charges qui va être collectée par un pixel adjacent à celui dans lequel les électrons ont été générés. Pour réduire ce phénomène, les concepteurs ont notamment recours à des tranchées qui permettent d'isoler chacun des pixels.
- ✓ **L'éclairement Relatif (ou « Relative Illumination », RI) :** C'est le rapport entre la sensibilité d'un pixel quelconque et la sensibilité d'un pixel placé au centre du capteur.
- ✓ **La Dynamique (Dynamic Range ou DR) :** De manière pratique, une grande dynamique traduit la capacité du capteur à restituer à la fois les faibles et les fortes luminosités sur une image comportant de fortes variations d'intensité. Les capteurs à grande dynamique sont d'un grand intérêt, notamment dans le domaine automobile. En effet, les systèmes d'assistance à la conduite doivent être capables de réaliser des images de qualité, même en cas de conditions de luminosité dégradées comme à l'intérieur d'un tunnel. Les petits pixels ont tendance à avoir une dynamique réduite du fait d'une réduction de la charge à saturation.

Le critère d'évaluation d'un capteur reste la performance du pixel et sa taille, mais d'autres suivent et concernent l'environnement de la partie photosensible comme l'énergie consommée par le capteur, la taille de la puce, les contraintes liées au packaging, etc...

### 3 LES CAPTEURS D'IMAGE CHEZ STMICROELECTRONICS.

#### 3.1 HISTORIQUE & ENJEUX.

Lorsque STMicroelectronics décide, à la fin des années 1990, de s'intéresser au marché embryonnaire de l'imagerie, la société prend deux décisions déterminantes : premièrement, de maîtriser l'ensemble de la chaîne de l'image, depuis l'acquisition de la lumière (incluant le traitement du signal requis par des fonctions telles que la réduction du bruit ou la correction des erreurs); jusqu'au conditionnement de modules optiques complets en passant par leur assemblage; deuxièmement, d'utiliser des technologies CMOS (standard de l'industrie des semi-conducteurs) pour les capteurs d'image.

A cette époque, les capteurs d'images CMOS n'étaient pas considérés comme adaptés à des applications de pointe telles que la photographie numérique haut de gamme. Le marché de la détection d'image était en effet dominé par la technologie CCD. Bien qu'offrant des images de haute qualité, cette technologie était pénalisée par deux inconvénients liés : elle est à la fois onéreuse et incompatible avec la technologie CMOS utilisée pour les systèmes sur puce. Toutefois, STMicroelectronics avait de bonnes raisons de penser que les performances des capteurs d'image CMOS pouvaient être sensiblement améliorées, ce qui permettrait d'associer des circuits de traitement d'image et de détection d'image sur le même circuit intégré. Les responsables ont alors décidé d'acquérir une technologie de capteurs d'images CMOS adaptée aux besoins de l'entreprise et l'a trouvée chez la société VLSI Vision. Basée à Edimbourg en Écosse, VLSI Vision est une société de conception qui était pionnière en technologie CMOS pour capteurs et dont le succès commercial reposait sur des applications telles que les jouets et les équipements de vidéoconférence. En avril 1999, STMicroelectronics a finalisé l'acquisition de la société mère Vision Group et donné naissance à la division *Vision and Imaging*, qui est rattachée au groupe *Consumer and Micro* de STMicroelectronics et aujourd'hui intégrée au groupe élargi *Mobile, Multimédia & Communications* (MMC).

Le groupe Advanced System Technology (AST) de STMicroelectronics a également commencé à développer et breveter les algorithmes avancés indispensables pour des fonctions telles que la réduction du niveau de bruit et la correction des couleurs. Parallèlement, l'entreprise a mis en place un autre groupe de travail, constitué cette fois d'experts chargés de développer des boîtiers optiques. Il s'agissait en effet de créer un module complet pour téléphones portables. Cette solution inclut le capteur d'images et son support, un filtre à infrarouge, un porte-objectif, le barillet qui contient en règle générale de deux à quatre lentilles, les circuits de traitement du signal numérique et d'alimentation, et un connecteur flexible. Dix-huit mois ont suffi à l'équipe chargée de la conception pour développer une première solution complète. En 2006, la production planifiée atteint les 80 millions d'unités.

STMicroelectronics a remporté un vif succès sur le marché grâce à l'excellente performance du pixel (ce qui montre encore une fois l'aspect critique de cet élément), à ses capacités de développement de modules et de capteurs, et à la maîtrise totale du flux de fabrication. De plus, son vaste portefeuille de produits permet aux clients de décliner différents systèmes sans

difficulté. Tout cela est possible grâce aussi à la mise en place de standard comme le *Standard Mobile Imaging Architecture* (SMIA) qui permet de joindre différents types de modules à différents systèmes.

Selon Prismark Partners LLC, l'un des cabinets d'analystes de référence du secteur, plus de 50% des téléphones portables vendus en 2006 disposent d'un appareil photo embarqué, et le taux de pénétration devrait atteindre 75 % d'ici 2010. De plus, de nombreux modèles de téléphone portable contiennent à présent une seconde caméra pour les applications de vidéoconférence. Outre les téléphones portables, les modules caméra peuvent être intégrés dans une large gamme de terminaux portables tels que les assistants numériques personnels, les webcams, les appareils photo numériques et les caméras de sécurité sans fil. Comme nous l'avons vu précédemment de nouvelles applications sont également développées, notamment dans le secteur automobile où des instruments de vision automatique contribueront à l'amélioration de la sécurité active et passive, ainsi que dans le domaine des équipements de diagnostic médical.

### 3.2 LES ROADMAP : LOGIQUES DE CONCEPTION.

L'industrie des semi-conducteurs est régie par des « Roadmaps » ou des feuilles de routes, celles relatives au CMOS étant déterminées par l'ITRS (cf. Partie 1 de synthèse). Ce document présente les dates de mise à disposition et les caractéristiques des nouveaux produits d'un constructeur de matériel ou d'un équipementier. C'est en quelque sorte la feuille de route des fournisseurs de technologie. Dans notre cas, nous avons des Roadmap au niveau des OEM<sup>10</sup> de téléphones portables qui définissent les fonctionnalités des produits sur des segments de marché définis. Celles-ci sont retranscrites en Roadmap produit pour les centre de profit, notamment la « *Business Unit* » en charge des capteurs d'images, ce qui permet de définir le portefeuille de produits adressables. Enfin, les caractéristiques des produits sont traduites au niveau des plateformes technologiques, ce qui permet de caractériser les activités des entités de R&D en objectifs qualité, coût, délais (cf. Fig.4.10 et Fig.4.11).

La Roadmap produit caractérise la distribution des fonctionnalités et principales évolutions du produit imageur sensor sur les 5 prochaines années. C'est aussi un outil de communication vis-à-vis des clients de ST.

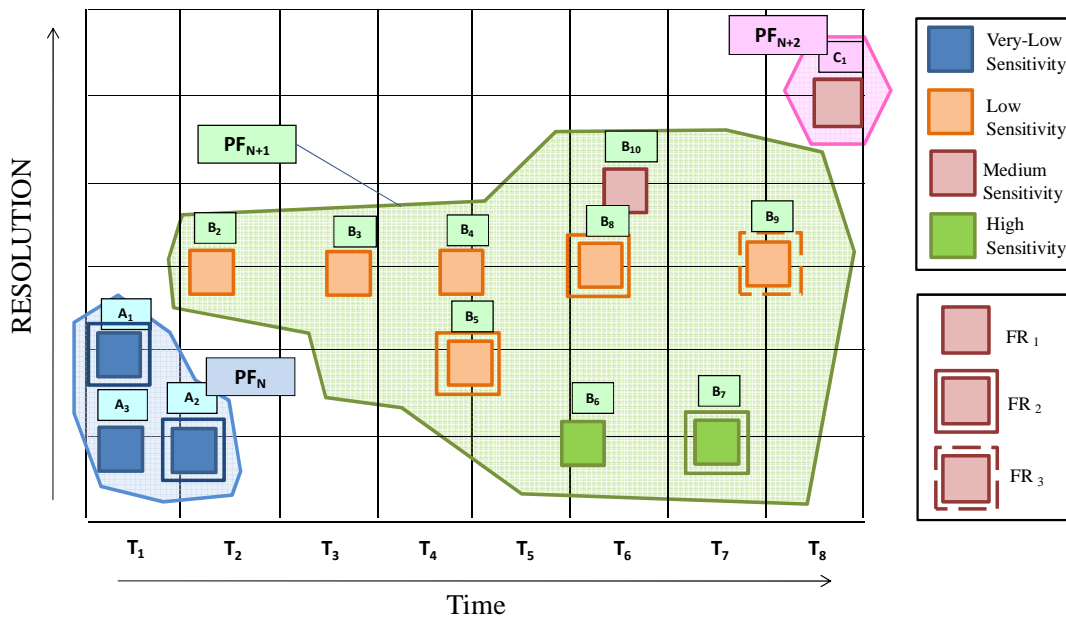


Figure 4.10: Roadmap produit et définition de plateforme pour les capteurs d'images

On peut remarquer que deux approches ont été adoptées, la première de 2001 à 2004, où il s'agissait d'adapter le produit imageur à la technologie CMOS standard, ou plutôt d'exploiter l'effet photoélectrique à partir de la base CMOS pour faire des capteurs d'images sur silicium. Au fur et à mesure du temps, une seconde approche a été adoptée à partir de 2005 qui consiste à adapter la technologie CMOS au produit. Ainsi, les plateformes capteurs d'images ont acquis de plus en plus de spécificités, ceci a nécessité de développer de nouvelles voies technologiques (ce que nous verrons plus tard dans ce chapitre à travers les architectures BSI pour « Back-Side

<sup>10</sup> OEM : Original Equipment Manufacturer.

« Illumination » ou le pixel - 3D). On peut remarquer à travers l'analyse de la Roadmap qu'il y a une principale tendance qui consiste à diminuer la taille du pixel d'un facteur 1.25 à chaque génération (ainsi, on passe d'un pixel de 5,6 $\mu\text{m}$  à 1,15 $\mu\text{m}$  en 8 à 9ans).

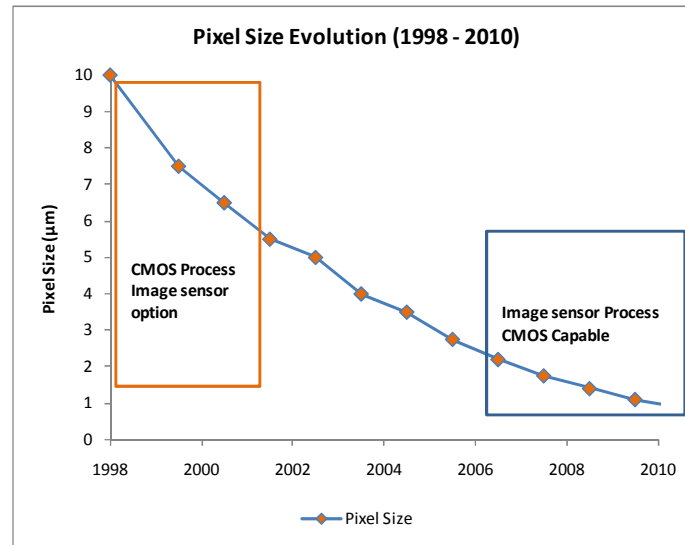


Figure 4.11: La Roadmap technologique pixel. (Jaffard 2008)

Le développement de produit/process est réalisé en gros volumes. En effet, un business plus tôt représente 50 millions de pièces en plus et chez NOKIA, la pré-série sur une plate-forme représente 1 million de pièces (pour info : 1200 camera/mn).

### 3.3 ORGANISATION : ACTIVITES DE DEVELOPPEMENT ET DE RECHERCHE.

En revenant sur le modèle de Kline et Rosenberg (Kline and Rosenberg 1986) ceux-ci décrivent les principales correspondances entre activités de développement et travaux de recherche qui peuvent être de l'amélioration de procédés, du raffinement de modèle conceptuel ou de la résolution « d'un certain nombres de questions récurrentes sur les produits et les procédés de fabrication ». Ainsi, on pourrait imaginer que les activités de recherche soient motivées par des questions et des problématiques pointues d'optimisation auxquelles est confrontée l'entité Développement, et que l'objectif des entités de recherche serait d'apporter des réponses pointues réintégrées directement dans le processus de conception. Or ici, ce n'est pas le cas puisque la recherche avancée travaille entièrement sur de nouvelles générations d' « image sensors ». Ceci amène les équipes de recherche à s'intéresser à l'unité fondamentale qu'est le pixel. Ainsi, on ne peut évaluer les activités de recherche de manière indépendante par rapport aux activités de développement.

Nous nous sommes donc attachés à modéliser le raisonnement de conception des entités de développement sur les capteurs IMG pour comprendre comment sont motivées et formulées les questions de recherche.

#### 4 LES CAPTEURS D'IMAGES 2D ET 3D : MODELISATION DES RAISONNEMENTS DE CONCEPTION.

Pour la présentation de la théorie C-K et le formalisme associé, nous vous invitons à vous reporter à la présentation de notre méthodologie dans notre première partie de synthèse (p. 57).

##### 4.1 LA CONSTRUCTION DE CO : 1<sup>ER</sup> CONCEPT.

L'équation économique du type VAN nous montre que dans le cadre de projets de

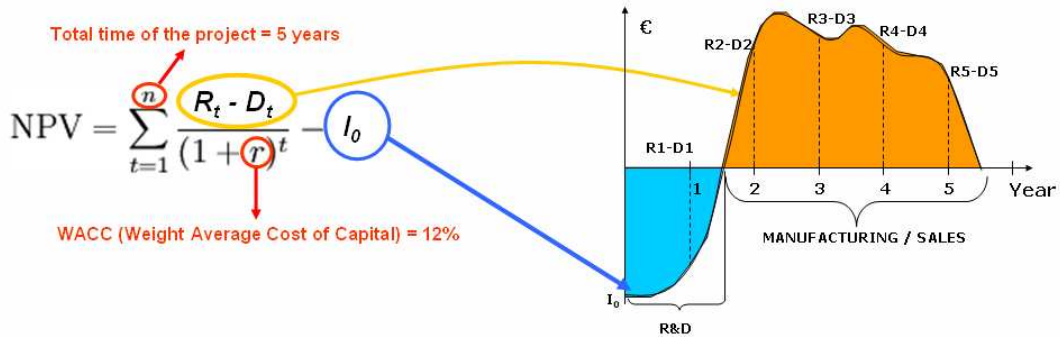


Figure 4.12: Calcul de NPV (Net Present Value)

développement comme celui des imageurs les différentes composantes sont déterminées. En effet, le niveau de NPV à atteindre est fixé par la stratégie d'entreprise, « n » correspond au temps du projet de R&D et de vente des produits avec la plate-forme considérée (dans notre cas, nous prendrons n= 5ans), « Rt » correspond aux prévisions de vente sur les différents produits issus de l'utilisation de la plate-forme « capteur d'images ». Le dernier paramètre correspond au taux d'actualisation « r » qui est égal à 12% dans notre cas. Ainsi, il reste à déterminer la distribution du budget à allouer à la Recherche et au Développement, ce qui correspond à la somme ( $I_0 + \sum D_t$ ). Nous pouvons considérer que nous nous retrouvons dans deux types de cas. Le cas où cette somme est suffisante pour réaliser un capteur d'images complet et le cas où cette somme doit être complétée par d'autres, le budget étant critique.

Dans le cadre de notre produit comme souligné précédemment, nous nous appuyons sur une base CMOS et une génération de capteurs préexistante (appelée N) pour concevoir la génération ultérieure de capteurs suivant (image sensor de génération N+1). En effet, les investissements pour développer la base CMOS sont mutualisés et fournis par l'ensemble des centres de profits de l'entreprise, ainsi, ce type d'approche (l'utilisation de plate-forme CMOS) permet de minimiser les coûts générés par la partie spécifique de l'imageur.

Dans le cadre de notre modélisation C-K, nous formulerons notre Co de la manière suivante : « Comment concevoir une génération N+1 d'IMG en utilisant un maximum de CMOS N & de IMG N ? ». A travers notre modélisation C-K, notre objectif est de modéliser les activités et les logiques de conception réalisées dans le cadre des projets IMG, de repositionner à un instant t les activités de développement, celles de recherche & celles de recherche avancées, pour bien comprendre quelles sont les interactions et les modes de fonctionnement entre les différentes entités. Nous aborderons dans un premier temps ces différents aspects de manière descriptive pour

analyser les différentes alternatives et nous verrons comment nous pourrions passer à des cas plus prospectifs.

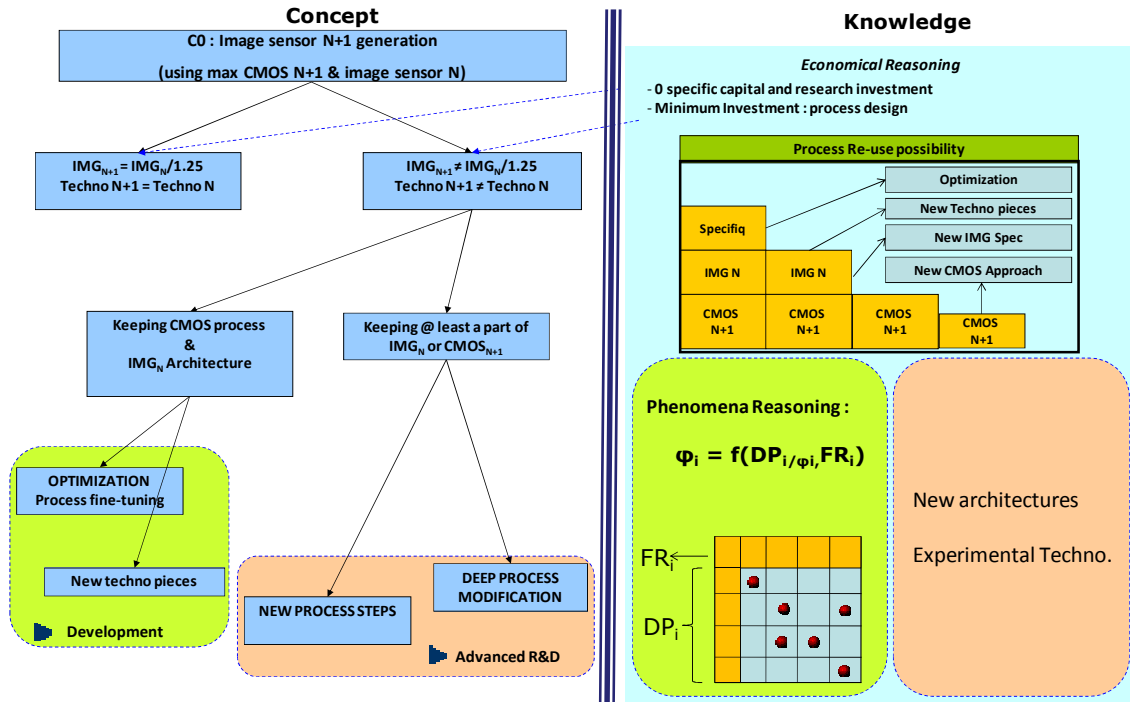


Figure 4.13: Raisonnements de conception et premières partitions C-K « image sensor »

La première question posée est donc : comment atteindre les performances attendues avec le minimum d'investissement ? La partition que nous réaliserons est basée sur l'argument économique qui considère que l'on cherchera à réaliser un minimum d'investissement pour atteindre le degré de performance attendu en ce qui concerne les fonctionnalités de notre IMG. On peut donc considérer que le premier investissement est nul pour atteindre les performances attendues (la réduction des motifs de masques d'un facteur 1.25 et la réalisation d'un lot de test). Le test du SNR<sup>11</sup> permet de déterminer si les performances sont atteintes ou pas. Dans le cas où des efforts de conception sont à réaliser sur le type de composant à développer, on distinguera plusieurs répartitions de coûts différentes avec des voies de plus en plus intrusives. La première voie constituera l'amélioration des procédés ou de l'architecture des composants, la seconde sera la création de nouvelles briques technologiques qui permettent d'atteindre les performances attendues sur le capteur. Une troisième voie sera d'introduire de nouvelles étapes de process et la dernière consistera à revoir à la fois l'architecture classique du capteur d'images et les procédés standards de fabrication.

<sup>11</sup> SNR : Signal to Noise Ratio.



4.2 UNE PREMIERE APPROCHE : L'OPTIMISATION DU PRODUIT & DES PROCÉDES.

On appellera optimisation du produit et des procédés tout ce qui est lié au « fine tuning » des étapes existantes et qui est peu intrusif par rapport aux procédés existants (peu d'investissement machine). La représentation C-K de ce type d'alternative apparait de la manière suivante :

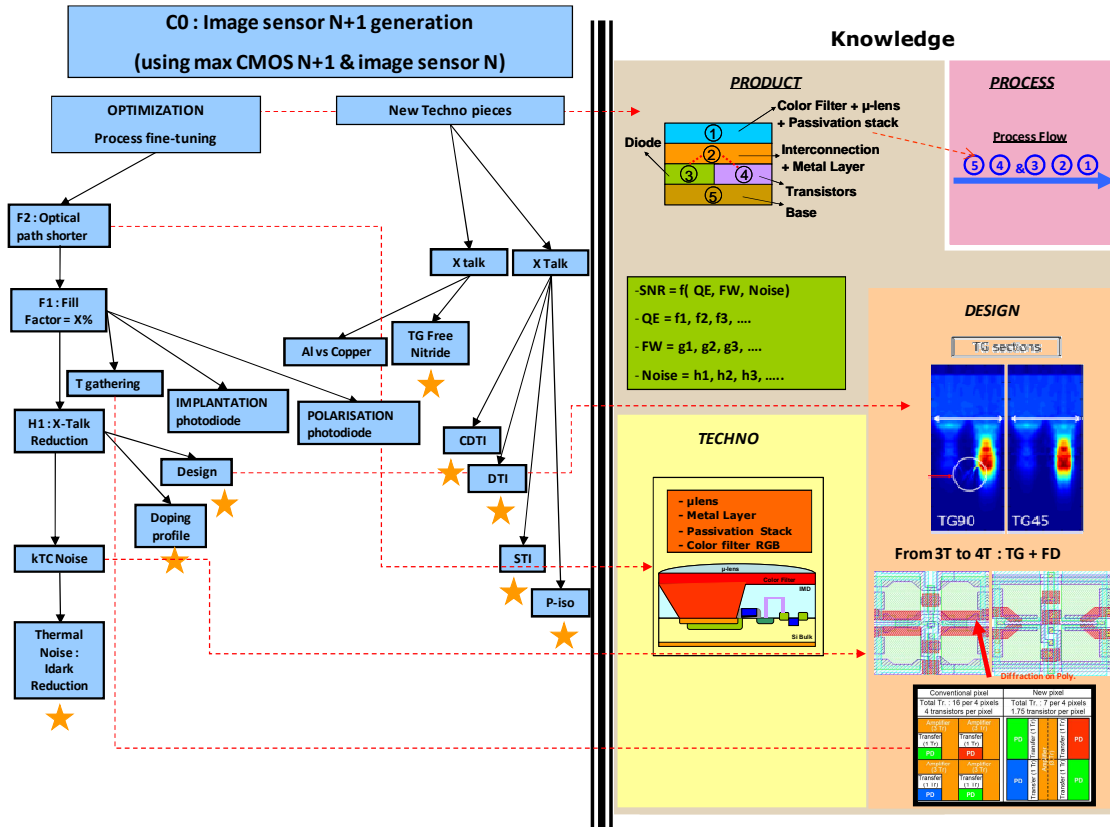


Figure 4.14: « Fine-tuning » des procédés et modes de réalisation

Commentons cette modélisation. Pour améliorer les paramètres de performances de notre plate-forme IMG le critère principale considéré est le SNR<sup>12</sup> qui doit être égal à 10 pour une certaine illumination (ex.: 175 lux). Pour améliorer le SNR, plusieurs alternatives sont envisageables : amplifier le signal émis (en faisant attention à ne pas saturer), réduire le bruit de fond ambiant, par exemple en maîtrisant mieux l'environnement, voire en isolant l'émetteur et le récepteur dans un espace confiné, diminuer la température pour diminuer l'effet thermique, filtrer le signal. On considérera celles qui sont envisageables au niveau du capteur d'images, à savoir l'amélioration de la qualité du signal ou la diminution du bruit. Si on considère la première alternative, il s'agira d'améliorer la qualité et l'intensité du signal capté en jouant sur différents phénomènes. Ainsi, on pourra diminuer ce que nous avons appelé « l'optical path » (ou chemin optique des photons) ou en augmenter « l'optical surface » (la surface photosensible). Dans le premier cas, il s'agira de diminuer les épaisseurs des différents niveaux fonctionnels au dessus de la zone photosensible tout en conservant les fonctionnalités du pixel. Dans le second cas, on

<sup>12</sup> SNR : Signal to Noise Ratio.

pourra penser à mutualiser les transistors d'analyse du signal entre différents pixels. Ces activités d'amélioration de performance font l'objet de « Grade » qui définissent une ou plusieurs alternatives d'amélioration des caractéristiques de la plate-forme pixel...

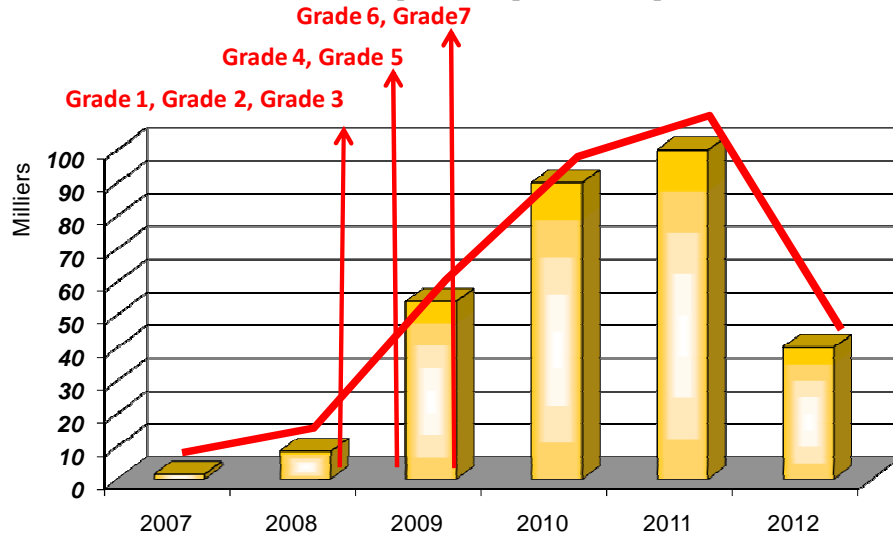


Figure 4.15: Amélioration des performances des plate-formes et logique de « Grade »

Ainsi, on a en même temps : une montée en cadence, la conception de la plate-forme et la vente des premiers produits. C'est ce qui caractérise les environnements à fort taux de renouvellement, ce que nous appellerons plus communément HTVE pour « **High Technological Velocity Environments** »

#### 4.3 DES INNOVATIONS INCREMENTALES QUI REVISITENT L'ARCHITECTURE ET LES PROCÉDES UTILISÉS.

Si on se permet d'être plus intrusif en ce qui concerne les procédés, on peut revoir les architectures de pixels proposés. Dans ce cadre, si on adopte une approche par blocs fonctionnels pour le pixel, on peut considérer cinq blocs que sont « la base » {5} qui sert de support pour toutes les activités de procédés planaires, « la photodiode » {3} permet de collecter l'ensemble des photons (est réalisée par implantation de différentes espèces), les transistors {4}, les couches d'interconnexions {2} qui permettent de lier {3} et {4} et la dernière couche {1}, qui rassemble la résine colorée, les micro-lentilles et les couches de passivation.

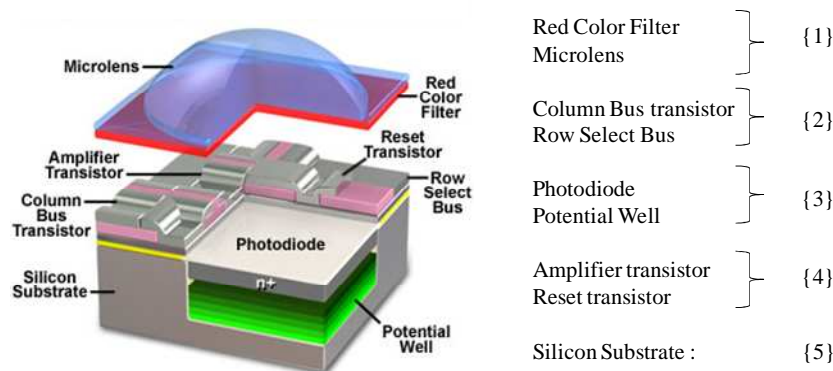


Figure 4.15: « Anatomie » d'un pixel

Ainsi le concept développé est le fait de mettre le bloc {3} au plus proche des rayons lumineux pour détecter le maximum de lumière et éviter les phénomènes de diffraction. A ce concept sont associées des règles de conception, comme le fait de réaliser les éléments qui nécessitent des étapes à forte température<sup>13</sup> (comme les transistors {4}) avant ceux qui ne supportent pas les hautes températures (interconnexions {2}).

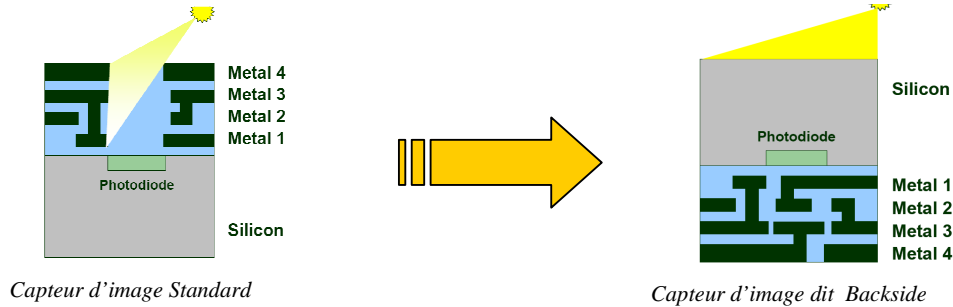


Figure 4.16: Illustration Concept Backside. Picture from: A. El Gamal, « CMOS Image Sensors », IEEE Circuits & Devices Magazine », 05/06 2005

Actuellement, ce type d'alternative est développé selon le processus de fabrication suivant :

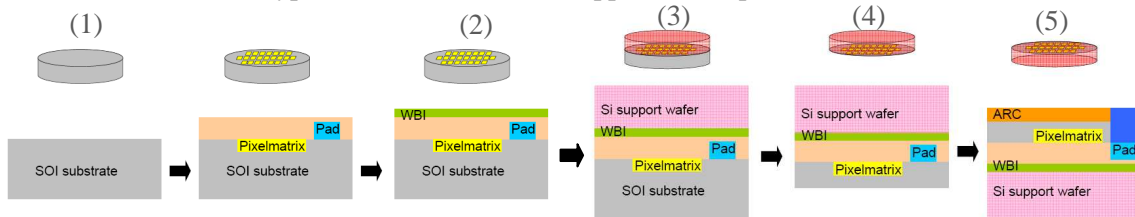


Figure 4.17: IMG Backside Process Flow. Picture from :J. PRIMA (ISSW 2007)

Le substrat initial utilisé est un SOI<sup>14</sup> (1) à partir duquel on va appliquer le processus de fabrication standard (2) pour construire les matrices de pixels. Suite à cela, on réalise un dépôt de WBI (Wafer Bonding Interface) (3) qui permet le collage moléculaire du substrat Si (4) qui sera considéré comme le support des capteurs. L'étape suivante consiste à amincir le wafer SOI (5) pour obtenir l'épaisseur nécessaire de  $3\mu\text{m}$  pour détecter l'ensemble du spectre visible dans le Silicium. La dernière étape est un dépôt d'ARC (*Anti Reflective Coating*) qui permet d'assurer un maximum de transmission des rayons lumineux. Prima (Prima 2007) montre que les étapes de collage et d'amincissement sont des étapes clés du process à stabiliser pour assurer la fiabilité des procédés de fabrication de ce type de produit et obtenir des rendements acceptables.. En ce qui concerne les performances de ce type d'architecture, elles sont de l'ordre de 60% pour le QE, alors qu'un capteur d'images standard a un QE de l'ordre de 30%, ceci nous permet donc d'envisager ce type d'alternative pour les générations futures de capteurs.

On peut noter que des analyses concurrentielles motivent aussi le lancement de certains projets. En effet, fin 2005, une étude de faisabilité en avance de phase de l'approche Backside est lancée au sein de l'entreprise. La pertinence de ce type d'approche est confirmée suite à l'annonce de la réalisation par SONY d'un capteur d'image backside pendant l'ISSCC 2006 (Iwabuchi,

<sup>13</sup> Par forte température, on entend des étapes de procédés où la température dépasse les 1050°C.

<sup>14</sup> SOI : Silicium On Insulator.

Maruyama et al. 2006). Les performances atteintes permettent de justifier le lancement d’une étude plus approfondie. Ainsi, un projet IMG backside voit le jour dans la partie « modules avancés » à partir de Mars 2006. Nous représentons les raisonnements de conception liés à ce type d’alternatives de la manière suivante :

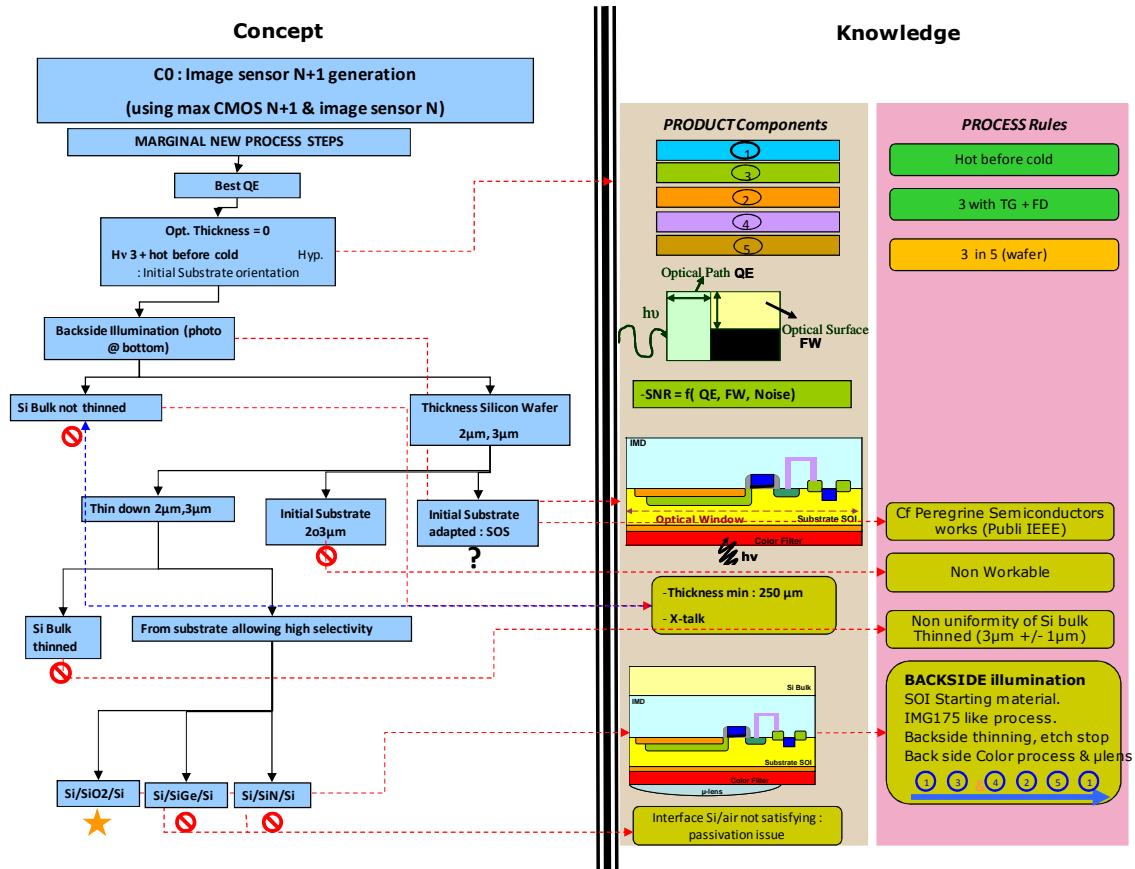


Figure 4.18: Modélisation C-K pour les approches de type "Backside Illumination"

#### 4.4 DES INNOVATIONS DISRUPTIVES : DE NOUVELLES ALTERNATIVES

Si nous nous autorisons à réaliser des changements plus radicaux en terme d’étapes de procédés, plusieurs approches sont envisageables. Dans le domaine des capteurs d’images, plusieurs groupes s’illustrent dernièrement pour leurs idées radicalement différentes. Dépassant le perfectionnement des procédés, ils proposent d’améliorer les performances en repensant l’architecture et la conception des circuits.

En proposant de nouvelles alternatives, nous pouvons réviser le concept initial en proposant des architectures où la surface photosensible est de 100% et le chemin optique est presque nul. Ce type d’architecture a pour avantage de pouvoir capter l’ensemble des rayons lumineux et d’éviter les phénomènes de diffraction de la lumière. Nous aborderons les alternatives envisagées à travers leur apparition chronologique en termes de projet. Ainsi, après avoir présenté l’originalité d’un capteur intégré en "Above IC" et les limites du silicium amorphe, nous nous attarderons sur une autre voie : l’intégration en trois dimensions.

En gardant le principe de la photodiode, on peut penser à découpler la zone photosensible des différents transistors. Ceci peut amène à envisager différentes architectures dont voici deux illustrations : l'Above IC en 4.4.1 et le pixel intégré en 3D en 4.4.2.

#### 4.4.1 L'alternative « Above IC ».

« Above IC » ou comme son nom l'indique « au-dessus du Circuit Intégré » signifie que l'on rajoute une couche fonctionnelle où on dispose la photodiode. Ce type d'architecture a en fait été proposée pour les capteurs CCD dans les années 80. Elle sera reprise pour application sur les CMOS dans les années 2000, des difficultés liées aux procédés ne permettant pas d'envisager ce type d'alternative avant les années 2006.

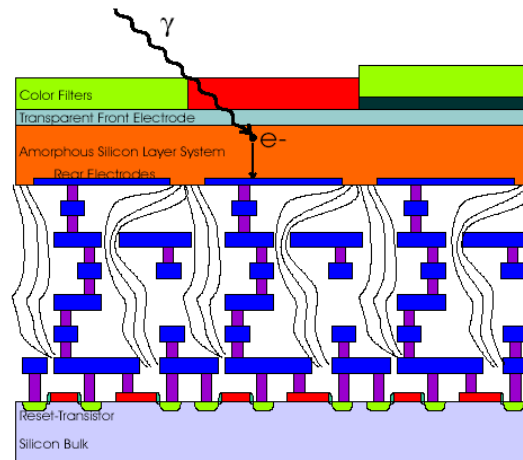


Figure 4.18: Principe du capteur d'images Above-IC

Comme le rappelle P. Coudrain (Coudrain, Magnan et al. 2009) dans ses travaux sur les capteurs d'images, l'avantage de ce type d'architecture est double. D'un côté, on bénéficie d'un Fill Factor de 100%, c'est-à-dire d'une photodiode occupant toute la surface du pixel, de l'autre on a une photodiode qui est au plus proche de la lumière on bénéficie donc d'un QE<sup>15</sup> élevé. Néanmoins, les matériaux choisis et le process ont un impact sur la faisabilité du produit. En effet, le fait d'utiliser du Si amorphe permet de réduire l'épaisseur de couche photosensible à quelques nanomètres (200nm) au lieu des 3µm nécessaires avec le Si monocristallin. Néanmoins, quelques roadblocks subsistent comme l'impossibilité de réaliser un transistor au niveau de la couche photosensible, et le fait d'utiliser du Si amorphe, qui induit l'utilisation d'espèces non standards en production comme le Chrome ou l'ITO<sup>16</sup>. En revanche, elle souffre d'inconvénients qui limitent son développement. Un vieillissement prématuré du silicium amorphe, qui se traduit par une baisse de la sensibilité, est observé en présence d'éclairements intenses : il s'agit de l'effet Staebler-Wronski. Il peut être vu comme un problème crucial pour les applications nécessitant une grande stabilité.

<sup>15</sup> QE : Quantum Efficiency.

<sup>16</sup> ITO : Indium Tin Oxide

#### 4.4.2 L'intégration 3D.

Une autre approche proposée permettant de découpler la zone de la photodiode et celle des transistors est l'intégration 3D. Celle-ci consiste à superposer des couches fonctionnelles différentes. Plusieurs voies sont envisageables pour la réalisation d'une architecture 3D.

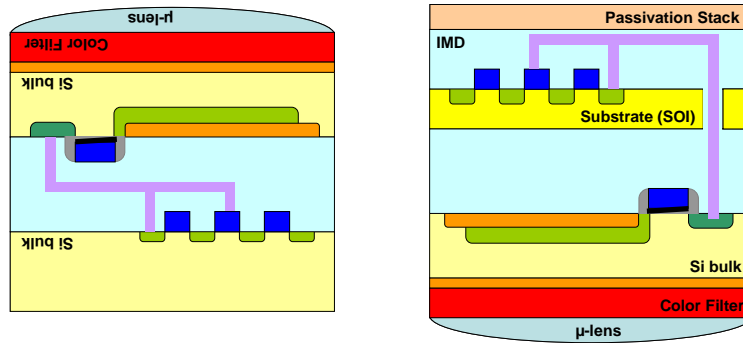


Figure 4.18: Principe du pixel 3D

L'idée d'un capteur intégré en trois dimensions est très bien résumée dans un brevet de Y. Cazaux de 2003 (Cazaux and Herault 2003). La photodiode et le transistor d'accès sont formés au-dessus d'un premier substrat contenant tout ou partie du circuit de lecture. Les deux niveaux sont séparés par une couche diélectrique et connectés par des vias. Plusieurs voies de conception sont possibles pour la réalisation du deuxième niveau de silicium, que ce soit par collage, recristallisation ou épitaxie à basse température. L'étude de leur impact sur les performances des transistors permet de déterminer les voies qui semblent les plus prometteuses. D'autre part, la réalisation des étapes à basse température constitue un défi important qui a été une des dominantes de cette activité de recherche réalisé dans le cadre d'une thèse entre 2006 et 2009 (Coudrain 2009).

**CONCLUSION.**

Les capteurs d'images sont complexes à la fois dans la diversité des architectures et technologies envisageables et des procédés utilisés pour leur fabrication. Comme nous l'avons évoqué, ceux-ci évoluent sur des marchés très dynamiques où le taux de renouvellement des capteurs est élevé (un nouveau capteur tous les ans et demi). Les modélisations des raisonnements de conception de type C-K nous a permis de retracer des trajectoires de conception

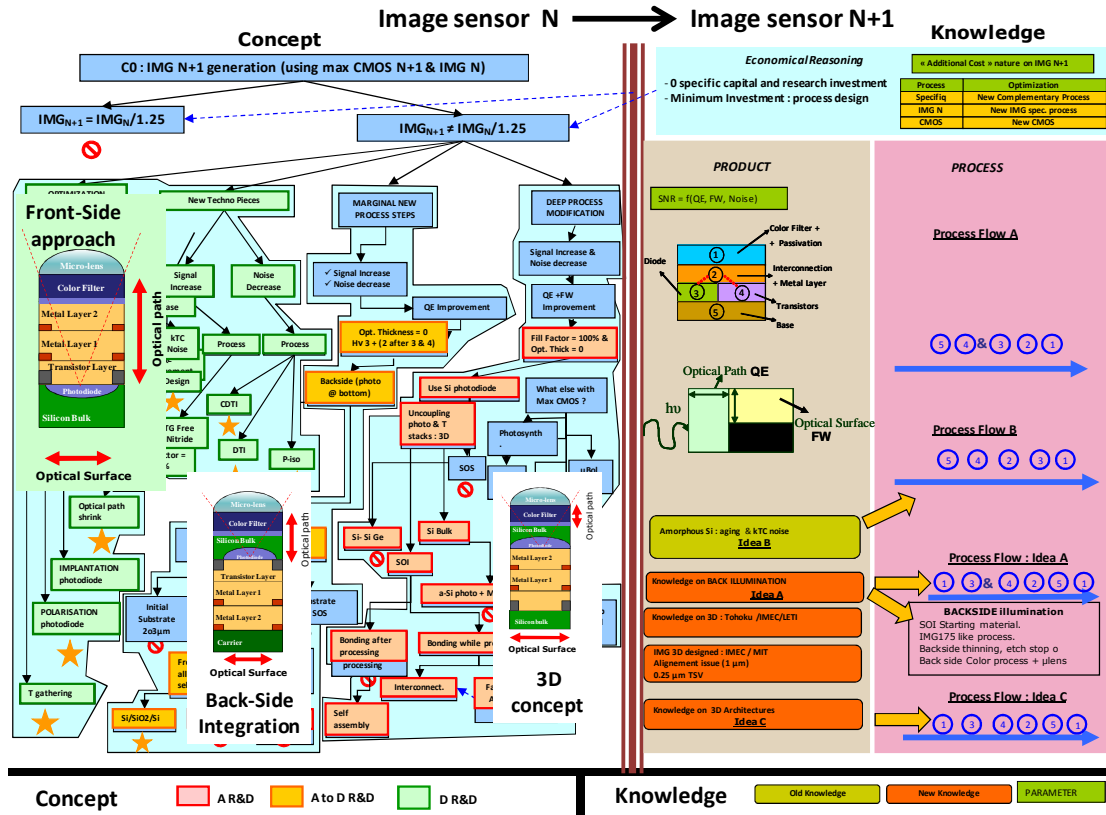


Figure 4.19: 3Modélisation C-K de notre étude de cas liée aux « Capteurs d'images »

Ce qui définit une génération technologique des capteurs d'images est un ensemble de caractéristiques évolutives dans le temps. Il s'agit donc de définir les technologies qui auront un impact sur les performances à atteindre et les intégrer suffisamment en amont du processus de conception pour anticiper les difficultés à venir. En effet, un « breakthrough » (ou technologie disruptive) de la concurrence qui deviendrait une référence sur le marché représenterait une menace pour la survie et le management du portfolio de produits de ce centre de profit. Ceci induit un travail indispensable de veille technologique et de travail au plus proche avec les clients (à travers des workshop) pour définir les fonctionnalités attendues, les performances à atteindre et les technologies envisagées.

La modélisation du raisonnement de conception avec une représentation de type C-K permet d'adopter un langage commun pour identifier les différentes alternatives technologiques possibles pour réaliser des capteurs photosensibles de type CMOS. Ces alternatives sont déclinées

en architecture, étapes de procédés à réaliser et matériaux utilisables (et leurs compatibilité avec les procédés standards utilisés dans la microélectronique). Nous identifions les partitions expansives du type « découplage entre la zone photosensible et les transistors » qui donnent lieu à l'apparition de différents concepts explorables. Ceux-ci sont basés sur la révision des règles de conception classiques adoptées pour la réalisation de ces capteurs.

Nous retrouvons aussi la logique des acteurs avec l'ensemble des projets couverts par les activités de recherche avancée (et qui sont en avance de phase, comme le projet pixel intégré en 3D), les projets qui sont en période de transfert de la recherche au développement (comme le projet capteur d'image « *Backside* ») et enfin ceux qui sont de la responsabilité des équipes de développement (capteurs d'images de la génération N et N+1). Ceci nous permet de qualifier le lien entre organisations chargées de recherche et celles chargées de développement. Enfin, nous retrouvons les logiques temporelles, puisque nous sommes capables de situer dans le temps l'évolution des projets, le passage d'une génération N à N+1 et la préparation des nouvelles générations de capteurs photosensibles (N+2, N+3). On peut voir que les projets sont réalisés simultanément et non successivement, ce qui permet d'acquérir de nouvelles connaissances sur des procédés ou des technologies et qui seront réutilisés pour les IMG de génération N+1.

## RÉFÉRENCES

- Cazaux, Y. and D. Herault (2003). Capteur d'images French Patent No FR2888989.
- CHIPWORKS (2008). Sharp AQUOS SH905iTV ¼", 3.2 Mp, 1.75 µm Pixel Size - C13P22- 3.2 Megapixel CMOS Image Sensor - Imager Process Review: 149 pages.
- Coudrain, P. (2009). Contribution au développement d'une technologie d'intégration tridimensionnelle pour les capteurs d'images CMOS à pixels actifs. Spécialité : Microélectronique, Capteurs d'Images. Toulouse, L'Université de Toulouse, délivré par l'Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace. Thèse: 232 pages.
- Coudrain, P., P. Magnan, et al. (2009). "Investigation of a Sequential Three-Dimensional Process for Back-Illuminated CMOS Image Sensors With Miniaturized Pixels." IEEE Transactions on Electron Devices Vol. 56(No. 11): 2403 - 2413.
- Iwabuchi, S., Y. Maruyama, et al. (2006). A Back-Illuminated High-Sensitivity Small-Pixel Color CMOS Image Sensor with Flexible Layout of Metal Wiring. IEEE International Solid-State Circuits Conference - ISSCC.
- Jaffard, J.-L. (2008). Image Sensor. DATE, Design Automation and Test in Europe. Munich.
- Kline, S. J. and N. Rosenberg (1986). An Overview of Innovation. The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth. N. R. In Landau R, Academy of Engineering Press: 275 pages.
- J. Prima et al., "A 3 mega-pixel back-illuminated image sensor in 1T5 architecture with 1.45µm pixel pitch," in International Image Sensor Workshop, Jun. 2007, pp. 5–8.



TSR (Techno Systems Research) (2007). "2007 Mobile Phone Platform Market & Development."  
166 pages.

---

# ***ANNEXE 1***

---

Absorptive or “desorptive” capacity?  
Managing Advanced R&D in semi-conductors  
for radical innovation

---

---



# **ABSORPTIVE OR “DESORPTIVE” CAPACITY? MANAGING ADVANCED R&D IN SEMI-CONDUCTORS FOR RADICAL INNOVATION.**

Yacine **FELK**<sup>1,2</sup>, Pascal **LE MASSON**<sup>1</sup>, Benoit **WEIL**<sup>1</sup> Patrick **COGEZ**<sup>2</sup>

<sup>(1)</sup> MINES Paristech, CGS- center for management science.

<sup>(2)</sup> Technology R&D, STMicroelectronics, CROLLES, France.

[yacine.felk@ensmp.fr](mailto:yacine.felk@ensmp.fr), [lemasson@ensmp.fr](mailto:lemasson@ensmp.fr), [bweil@ensmp.fr](mailto:bweil@ensmp.fr), [patrick.cogez@st.com](mailto:patrick.cogez@st.com)

## **ABSTRACT**

Despite several critics on Advanced R&D (ARD), companies and academic researchers are still considering that it contributes to the firm innovation capabilities, in two different ways: The first one is that ARD prepares discontinuous innovation particularly in science-based business. The second one is that it is also widely recognized that ARD contribute to the innovation process by enhancing Absorptive Capacity (in this case ARD is more precisely in charge of the “value recognition” of the knowledge absorbed). In both cases, R&D is interfacing knowledge production with the innovation process, which implies that the value of research is also its capacity to stimulate the relevant knowledge production and to “value” and assimilate external knowledge.

However discontinuous innovation and absorptive capacity are not self evidently combined this suggests different research questions. Is this the role of R&D (or Advanced R&D) to activate knowledge production, ie to identify what has to be acquired or what knowledge has to be produced internally or externally? Or is it the role of another actor? If R&D plays that role, this would extend the classical approach of R&D as an “absorptive capacity”.The interfacing activity would generally combine movement from innovation process to knowledge production and movements from knowledge production to innovation process: are these movements compatible in a single research project? Or do the organizations clearly separate them?

Through an in-depth case study in the semiconductor industry, we explore the main research proposal: in the membrane between innovation process and knowledge production, Absorptive Capacity (AC) is the capacity to use existing knowledge into the innovation process; we propose to call Desorptive Capacity (DC) the capacity to activate knowledge and knowledge production from the innovation process. Actually, this capacity, which is critical for radical innovation, is insufficiently described by absorptive capacity, which rather focuses on the use of existing knowledge in the innovation process. We show that desorptive capacity demands specific activities, different from knowledge production, we also show that this simple AC-DC grammar helps to distinguish two family of projects, rule-based projects and rule-breaking projects. the first ones using exclusively AC whereas the second ones require DC for efficient AC. We hence propose an enriched framework for the evaluation of different types of R&D activities, including research, development and advanced R&D.

## **KEY WORDS**

Research & Development, Absorptive Capacity, Innovation, Knowledge Management, C-K Theory.

## INTRODUCTION

At STMicroelectronics, one of the leading semiconductor companies in the world, Research Team A (part of the Advanced R&D in charge of the "More than Moore" issues) doesn't follow classical patterns of R&D management: there are neither clear scientific questions nor labs for disciplinary knowledge production (since there exists "classical" research labs besides advanced R&D); there is no intention to develop new products or new processes (since there are engineering and development teams in charge of these developments); but there is a capacity to follow heterogeneous research fields, to order low cost probes to new research partners, to scan and explore the most outlandish technologies. Is this activity efficient? How can managers evaluate it? Through publications? Through network building? Through the profitability of products and processes? All these criteria would not be enough to describe the specificities of Research Team A: there are not significantly more publications than at the other internal research labs, networks are emerging and not formalized, new technologies are developed as proof of concept but will not appear in commercial products until after many years, if ever. Is this a poorly managed R&D? Or does it mean that Research Team A embodies a new capacity that was not completely identified in the literature? This second hypothesis is all the more interesting than semiconductor industry was already the industrial reference for the identification of a now famous capacity attributed to R&D, absorptive capacity (Cohen and Levinthal 1989, 1990). Advanced R&D embodies absorptive capacity but it seems that the notion of absorptive capacity doesn't account of its full capacities: as absorptive capacity, it supports the use of existing knowledge for the innovation process; but more than an "absorptive capacity", it also supports the reverse movement, from the innovation process to knowledge production. This reverse movement was often effortless or even not needed in the classical case studies on absorptive capacity; it is now more and more demanded in a lot of innovation cases. Being the reverse of absorptive capacity, we call this second process a 'desorptive' capacity<sup>1</sup>.

This paper explores this main research proposal: in the membrane between innovation process and knowledge production, absorptive capacity (AC) is the capacity to use existing knowledge into the innovation process; we propose to call desorptive capacity (DC) the capacity to activate knowledge and knowledge production from the innovation process. We will show that desorptive capacity demands true activities, different from knowledge production: rule breaking, design of hooks for hanging emerging knowledge and the hierarchy of knowledge production (proposition 1). We show that this simple AC-DC grammar helps to distinguish two family of projects, rule-based projects and rule-breaking projects, the first ones using exclusively AC whereas the second ones require DC for efficient AC (proposition 2). We hence propose an enriched framework for the evaluation of different types of R&D activities, including research, development and advanced R&D (proposition 3).

In a first part we remind that absorptive capacity is one model for interfacing knowledge production and innovation process. We show that absorptive capacity is now a robust model of the capacity to use existing knowledge for the innovation process but that absorptive capacity doesn't really account for the movement from the innovation process to the activation of knowledge production. This research question is investigated through an in-depth case study in advanced R&D in one of the main semiconductors manufacturers: the second part presents the methodology. A third part presents the main results. A fourth part discusses the main research propositions.

---

<sup>1</sup> The term "desorptive capacity" was initially proposed by Marc Barbier. The authors thank him for this insightful suggestion.

## **PART 1. HOW DOES R&D CONTRIBUTE TO THE INNOVATION PROCESS? RELEVANT LITERATURE AND RESEARCH HYPOTHESES.**

### **1.1. The two faces of R&D: producing knowledge and interfacing with the innovation process**

Since twenty years, the literature has clarified the fact that the innovation process can not be reduced to research (basic research, advanced research,...). The most seducing mythes of basic R&D making innovation, like Du Pont Nylon, have been studied to clarify the (limited) role of research in innovation (Hounshell and Smith 1988). Several models have been proposed to articulate research and innovation process. Kline and Rosenberg’s “chain-linked model” considers that research is a knowledge production process and that the produced knowledge can be used at different steps of the innovation process (Kline and Rosenberg 1985). Following a similar model, Roussel et al. (Roussel et al. 1991) insist on the fact that “3<sup>rd</sup> generation R&D” can not be reduced to a stage of the development process: it is an independent process of knowledge production that has to be linked to the innovation process through a clear firm strategy. Assuming that the strategy is not always clearly defined when it comes to more radical innovation, Miller et al. have proposed a “4<sup>th</sup> generation R&D” in charge of producing knowledge on new markets and on new technologies. “4<sup>th</sup> generation R&D” is the convergence of the two vectors (creation of new market knowledge, creation of new science and technology) as the expression of both new market knowledge and new technology, which occurs outside the domain of existing knowledge and market, but inside the target zone for new markets and new industries that serve latent needs" (p23) (Miller and Morris 1999). (Myers and Rosenbloom 1996) follow the same line of thought, to adapt the chain-linked model to situations of radical innovation: in such situation the users of R&D should ask R&D to map the full extent of technological frontiers, to provide qualified technology alternatives for the selection phase of the development funnel described by (Wheelwright and Clark 1992) and to provide a platform of marketable intellectual properties.

More recently, studies of radical innovation processes have shown that R&D can play several roles: R&D provides knowledge in discovery but can also be involved in business development incubation phases as well as in the transmission of the innovative projects to the business units (O'Connor and DeMartino 2006). Discussing the strong integration between internal R&D and internal innovation process, “open innovation” (Chesbrough 2003) considers that R&D, as a knowledge production, can be (at least partially) externalized, while the firm focuses on making use of the abundance of external knowledge(Elmquist and Segrestin 2008).

These analysis show that R&D contributes to innovation in two different ways:

- On the one hand, research produces knowledge. This first role is clearly identified, in particular in the economics approach of the value of R&D: economics considers that R&D can be evaluated by the quantity of knowledge it produces (quantity of patents, of papers, etc...). If R&D is reduced to this single dimension, managing R&D would mean managing a knowledge production system. And in this restrictive perspective, R&D would not be in charge of asking the relevant questions and making use of (or “applying”) knowledge.
- On the other hand, research contributes to bridge the gap between knowledge production and the innovation process. R&D is interfacing knowledge production with the innovation process. This means that the value of research is also its capacity to

stimulate the relevant knowledge production and to “value” and assimilate external knowledge.

The above mentioned models actually make various hypothesis regarding this second activity of research: the chain-linked model harnesses research to the engineering activity, which is supposed to be able to ask relevant questions and make use of the knowledge produced, hence R&D hardly cope with the “interfacing” activity; in case of radical innovation, the “interfacing” activity is (partially) taken in charge by R&D. The “open innovation” approach clearly separates the knowledge production (externalized) and the interfacing activity (kept internally).

## 1.2. R&D as an absorptive capacity: a model of the “interfacing” activity.

What do we know about this “interfacing” activity? We couldn’t find a complete model of “interfacing” in the literature. But the notion of “absorptive capacity” has already widely addressed a similar issue. In 1989, Cohen and Levinthal analysed the role of R&D and distinguished the information generation and the “ability to assimilate and exploit existing information” (Cohen and Levinthal 1989). They proposed a model of this second, less recognized capacity. They define Absorptive Capacity as the organizational capability to organize value and assimilate external knowledge in order to increase firm innovativeness. They assume that Absorptive capacity is a dynamic capability that combines value recognition of the missing knowledge, its assimilation and application.

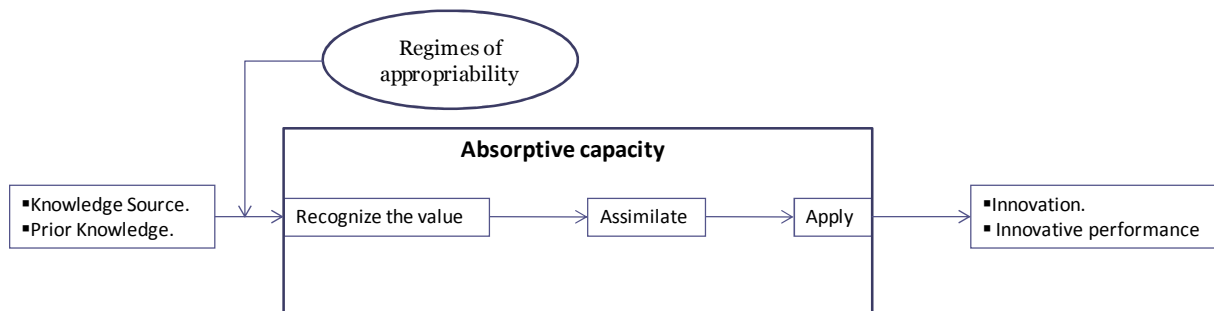


Figure 1: A model of absorptive capacity based on Cohen and Levinthal (from Todorova & Durisin, 2007)

Zahra & George (Zahra and George 2002) proposed a reconceptualization of Cohen & Levinthal’s absorptive capacity model, where they split Absorptive Capacity in two components which are “Potential Absorptive Capacity” (encompassing knowledge acquisition and assimilation) and “Realized Absorptive Capacity” (knowledge transformation and exploitation) and added the concept of activation triggers and social integration mechanisms. Todorova and Durisin valued this reconceptualization and suggest to reintroduce the notion of “value recognition”, to extend contingency factors from “social integration” to “power relationships” and to capture the dynamics of absorptive capacity by adding feed back loops to model the fact that “future absorptive capacity is determined by the current absorption of new knowledge in organizational routines and processes » (p. 783) (Todorova and Durisin 2007).

Studies adopting the notion of Absorptive Capacity link firm’s innovative capability to the use of external knowledge sources as sources of new ideas (Laursen and Salter 2004) , finding partners in new technology ventures (Rothaermel and Thursby 2005) or the creation of new products (Katila and Ahuja 2002), where a given technology or piece of knowledge is not

only exchanged but further collectively developed and the respective knowledge base is increased (this constitutes a dynamic process of collective learning).

Generally speaking, absorptive capacity literature focused on the capacity to make use of existing knowledge, insisting on the capacity to assimilate and transform it and the necessity for a firm to accept external knowledge as a legitimate resource for innovation. However only limited investigations have been done on absorptive capacity and radical innovation (Lane et al. 2006) p. 2005. In case of radical innovation, one notion of the “absorptive capacity” model becomes critical, namely “value recognition”: how to recognize value when it is not linked to past products and competences? How can a company identify the knowledge it needs for radical innovation? Moreover how to identify the relevant knowledge producers for this missing knowledge? The notion of “value recognition” is often advocated by the authors (see Todorova and Durisin); they show that it is a true component of absorptive capacity, independent of the others (acquisition, assimilation,...) (p. 777: “in sum, the ability to learn—that is to absorb external knowledge—depends to a great extent on the ability to value the new external knowledge”); but they don’t explain how R&D can enhance this capacity.

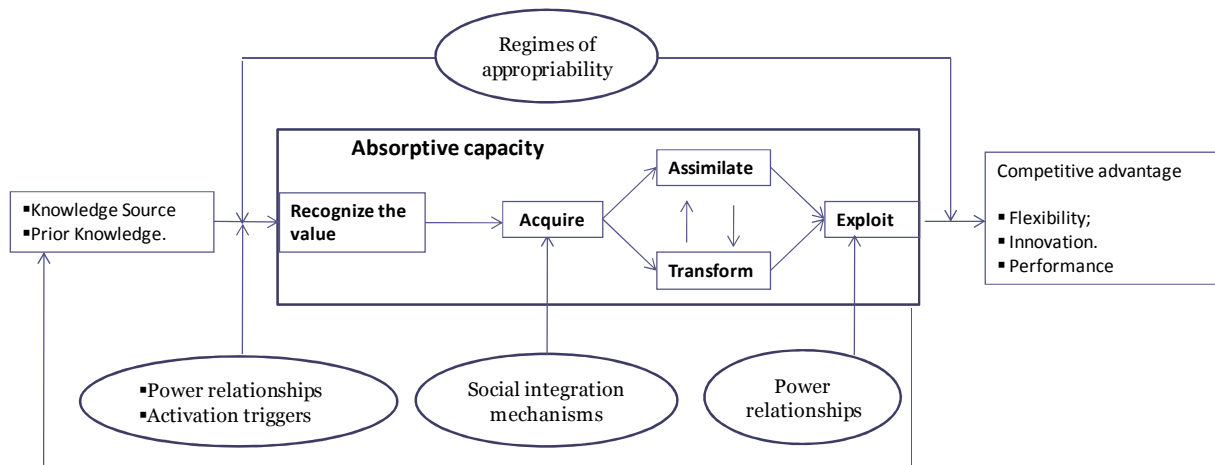


Figure 2: A refined model of absorptive capacity (Todorova & Durisin, 2007)

### 1.3. R&D as an absorptive capacity: a model of the valuation activity.

Hence the notion of absorptive capacity appears as a promising way to model the “interfacing activity” of R&D. But “interfacing” activity as emerging from the description of R&D and innovation processes (done in the first paragraph here above) might encompass *more dimensions* than the one caught by the notion of absorptive capacity. Descriptions of innovation processes rather suggest that the value recognition consists first in *identifying missing* knowledge, in *asking questions* to (external or internal) R&D and finally in recognizing the value of some pieces of knowledge .

Hence it appears that the interaction between knowledge production and innovation process is not only a “one way” process which would go from knowledge production to the innovation process; actually the innovation process can lead to “activate” knowledge production, ie to ask questions to research. Whereas absorptive capacity focuses on the movement from knowledge production to innovation, models like the “chain-linked model”, “fourth generation” or the systems approaches to innovation processes (O'Connor and DeMartino 2006) suggest to consider also the movement from the innovation process to knowledge production, in which the innovation process “harnesses” knowledge production.



The analysis of the state-of-the-art literature shows that there remain three research gaps and announces three propositions:

- 1- Is this the role of R&D (or Advanced R&D) to activate knowledge production, ie to identify what has to be acquired or what knowledge has to be produced internally or externally? Or is it the role of another actor? If R&D plays that role, this would extend the classical approach of R&D as an “absorptive capacity”. We should then consider that R&D is not only in charge of “absorbing” new knowledge into the innovation process but first to *prepare the substrate for future “adsorption”*; in this case one should *model the “desorption capacity” of R&D (Proposition 1, P1)*.
- 2- The interfacing activity would generally combine movement from innovation process to knowledge production ( $I \rightarrow K$ , desorptive capacity) and movements from knowledge production to innovation process ( $K \rightarrow I$ , absorptive or adsorptive capacity): are these movements compatible in a single research project? Or do the organizations clearly separate them? If one single actor is in charge of both movements, there might be a risk of shortcuts, since he would accept the first “answer” coming from the knowledge production without further explorations; if the two movements are separate, this might severely slow down the overall process and raise the risk of misunderstanding between “question asking” and “delivering answers”: the “desorber” will ask very open questions, difficult to answer by researchers whereas “adsorber” will collect a two broad area of knowledge. We will show several forms of combinations of the operators and will show when each appears to be relevant (proposition 2, P2).
- 3- When proposing “absorptive capacity”, Cohen and Levinthal consider it as a new way to value R&D. Identifying “desorptive capacity” as a possible new role of R&D should enable to better qualify and evaluate this part of R&D activity. We will propose a new framework to evaluate advanced R&D in the perspective of “interfacing” with the innovation process (proposition 3, P3).

## **PART 2. METHOD: A COLLABORATIVE RESEARCH CASE STUDY TO UNCOVER A NEW FRAMEWORK FOR ADVANCED R&D EVALUATION**

In this article the aim is to propose an additional framework for characterizing the “interfacing activity” of advanced R&D. A collaborative research study is used as the basis for discussion and the analysis is made using design theory literature which will be introduced in this chapter (e.g. Hatchuel et al., 2006; Le Masson et al., 2006).

### **2.1. A case study in a collaborative setting**

The research behind this paper was part of a broader collaborative research project (Adler 2003; Shani 2007) and was based on interaction research. Collaborative research is considered a good means to study and model new managerial practices (Shani 2007) . The collaboration with STMicroelectronics was based on a long term partnership and the researchers were invited to the organization to study a problem that was identified as being relevant and critical to both practitioners and researchers (Hatchuel 2001; Starkey and Madan

2001): the evaluation of advanced R&D in the context of innovation. The research study was designed as a case study (Yin 2003; Eisenhardt 1989) as it was of an exploratory nature and aimed at formulating new hypothesis rather than testing existing ones. This paper is built on a single case study, making any general empirical validation impossible – however one single case can illustrate interesting phenomena and provide important learnings (Siggelkow 2007). Eisenhardt suggests that a number of different methods can be used to “triangulate” the results; in this study, interviews were complemented with discussion seminars and documentation analysis. Also, the aim of the research project was not only to describe empirical practices in use (Argyris and Schön 1996) but also to do a revision of the existing theoretical management models.

Data collection was made through an exploratory case study of a bundle of R&D projects where the issue of interfacing with the innovation process had been encountered, based on a combination of interviews and discussion seminars. This study extended over a period of one year (from November 2008 until November 2009) with a combination of interviews, informal discussions and bibliographic research on absorptive capacity and innovation management (in order to stimulate theoretical sensitivity and questions) (Strauss and Corbin 1998) . There were four main seminars explicitly discussing the project and the issue of interfacing R&D with the innovation process, and twenty one in-depth interviews with the main actors (researchers, designers, process engineers, cost controllers and business managers)– a total of thirty-five interviews. Data collection was followed by data analysis where managers at the company were continuously involved in discussing the problem and the emerging results, according to the guidelines of systematic combining (Dubois 2002), engaged scholarship (Van de Ven 2007) and collaborative research (Shani 2007) . The analysis also drew on in-depth contextual understanding of the practices in use in the organization based on a number of other studies on R&D projects, managerial practices and strategic management at STMicroelectronics.

## **2.2. A relevant field of experiment: back to microelectronic industry**

Interestingly enough Cohen and Levinthal noted that semiconductor industry was among the first to clearly state that they invest in R&D to strengthen their capacity to “assimilate new technology developed elsewhere” ((Tilton 1971), cited by Cohen and Levinthal 1989). Going back to the seminal industry was one of the main reasons to study R&D absorptive capacity in semiconductor industry: more than 35 years later, what does R&D “interfacing” activity exactly consists in? Can it be analysed as absorptive capacity or are there other features, different from the one identified by Cohen and Levinthal and their followers?

Actually, semiconductor is particularly relevant for studying the interface between knowledge production and the innovation process:

- Being strongly science-based, the industry relies heavily on knowledge production.
- Semiconductor is also a strongly innovative industry. Moore law leads to regularly explore new technologies. Moreover firms today try to also explore new value area in a trend identified as “more than Moore” (ITRS 2007). Hence the industry faces intensive, continuous as well as discontinuous innovation.
- The industry relies heavily on external knowledge production, each industry player being linked to a network of knowledge producers.

Our case study took place in a global semiconductor manufacturer (IDM<sup>2</sup>) and more precisely in the unit in charge of exploratory projects (commonly called Advanced R&D). We worked on one of the main innovation challenges of the “imager” division: the design of the next generation (platform) of the image sensors for digital cameras. This case actually implied several research projects and several innovation and development projects. We will describe them in the following paragraph.

### **2.3. Wearing the right lenses for our case study analysis.**

One issue in this type of exploratory approach is to ground the investigation on a general (enough) analytical framework that helps to identify new patterns. Considering innovation as a design process, we rely on the most recent theory of design reasoning, the C-K theory (Hatchuel and Weil 2003; Hatchuel and Weil 2009, 2007; Kazakçi and Tsoukias 2005)}, to help identify knowledge creation, “idea” generation and, generally speaking, to follow the cognitive process of innovation and knowledge production.

The C-K theory describes a design reasoning as the interaction between two spaces, the concept space C and the knowledge space K. Design begins with an initial concept, a proposition that is neither true nor false ie is undecidable in the K space (called a disjunction). Such a design brief can not be said feasible or unfeasible, marketable or not,... Actually, “Realizing an image sensor uncoupling light-sensitive part from transistor one in two stacks” was a concept before any proof of concept was done. The design process consists in refining and expanding the concept by adding attributes coming from the knowledge space (the imager can be based on existing CMOS technologies or not, it can requires the design of a new stack or not,...). The process can also lead to the production of new knowledge (eg: a new Si-based coating, a new etching process, a capacity to drill, stick, assemble and connect Si-wafers...) to be used in the design process. The initial concept set is actually step by step partitioned in several, more refined, subsets. The process unfolds until one refined concept is enough specified to be considered as true by the designer: the concept becomes a piece of knowledge (this is a conjunction). The generic structure of a design reasoning is presented in the figure 3 below (source: (Hatchuel 2009)).

The C-K framework helps to follow cognitive processes (expansion of knowledge space, expansion of the conceptual brief into several, varied alternatives,...). One of the points we will focus on is the use of existing knowledge (from K to C) and the production of new knowledge (from K to K). This helps to follow whether the designers make use of existing design rules (Baldwin and Clark 2000, 2006) or create new ones. By describing the design reasoning process, we will also describe how designers are able to define missing knowledge characteristics (from C to K) and how it leads to produce new knowledge (from C to K to K).

In parallel of this cognitive perspective, we also analyse relational phenomena by identifying relevant actors, the types of relations between them, the structures of organizations and their activities. In particular we will follow the role of “research actors” and the knowledge providers (internal or external sources of knowledge).

---

<sup>2</sup> IDM : Integrated Device Manufacturer.

Such an analytical framework has already been successfully used in several cases (Elmqvist and Le Masson 2009; Elmqvist and Segrestin 2007; Ben Mahmoud-Jouini et al. 2006)

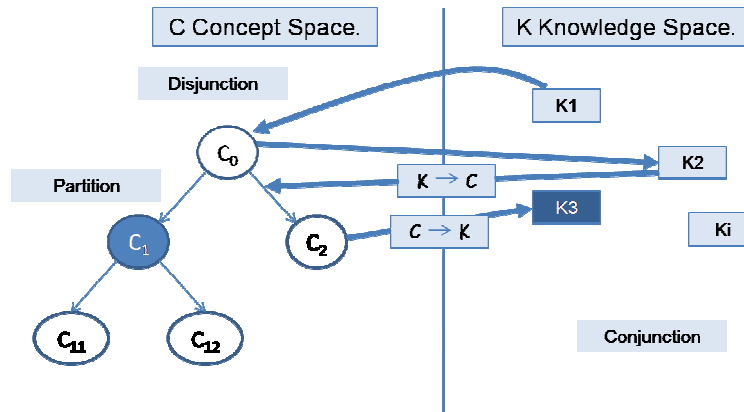


Figure 3: The generic pattern of a design reasoning in the C-K design theory (Hatchuel

### PART 3. RESULTS: THE ROLES OF R&D IN RULE-BASED AND RULES-BREAKING PROJECTS: ABSORPTIVE CAPACITY AND MORE

#### 3.1. Case study description: designing the next generation of cell phone image sensors

An image sensor is one of the main building blocks in a digital imaging system such as digital still or video camera. The market for image sensors has been experiencing explosive growth in recent years due to the increasing demands of mobile imaging, digital still and video cameras, internet-based video conferencing, surveillance and biometrics. With over three hundred million parts shipped in 2007 and an annual growth rate over 25%, image sensors have become a significant silicon technology driver.

The image sensor is one of the main elements of the image pipeline. Actually, in the image pipeline, the image sensor converts the incident light into an electric signal that is stored in a memory. An image sensor is composed of millions of pixel, each pixel translating the incident light on it into one bit. The rest of the pipe consists in “integrating” the stored pixel signals to produce the image. The image sensor became a central business for STMicroelectronics when it appears it is possible to use Si wafer as a photodiode; then it was possible to build an electronic integrated circuit on the wafer to treat the photodiode signal, the electronic treatment stack being produced by using classical CMOS technologies (ie technologies used for microprocessors).

The main trend concerning the image sensors is their size diminution (to improve the resolution of the sensor). But each surface reduction tends to decrease the performance of the single pixel, since each one receives less light. Therefore one of the main challenges consists in shrinking the pixel size without decreasing the pixel performances. To meet this challenge, several innovation projects are launched ranging from classical improvement to more discontinuous projects. For instance, one discontinuous alternative investigated by the exploratory unit is to “suppress” the optical stack containing all the electronic components for signal treatment so that pixel performance can be maximal (Figure 4): such a concept would

lead to an “ideal” optical surface for the pixel but requires to completely change the semiconductor process, to be able to stick, assemble and connect complex nano-electronics building blocks.

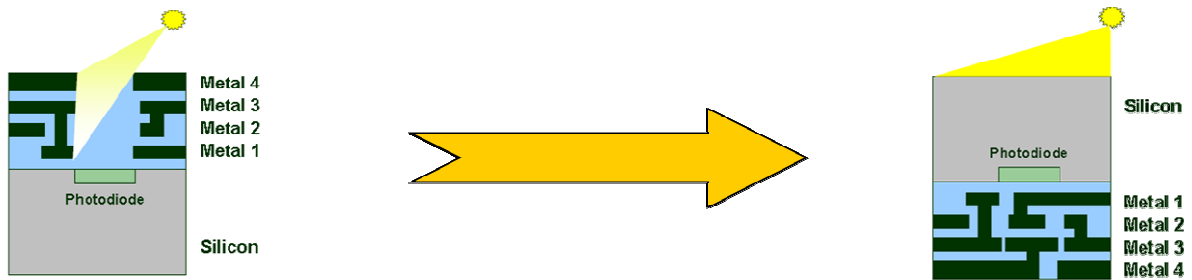


Figure 4: From frontside illumination to backside illumination

At STMicroelectronics several teams are designing the next generation of cell phones image sensors. It is not self evident to understand the role of each team in the overall design process: it is neither a pure Work Breakdown Structure where each team would be in charge of one module; nor is it a competitive process where each team explores one single solution in the hope to be selected as the winner entering the development funnel. The analysis consisted in meeting with each teams to clarify the concepts they are working on, the knowledge they are using and producing and the relationships they have with other actors. This led to a broad, integrated and detailed picture of the overall exploration of the concept “the next generation of cell phone image sensors”. A simplified version of this representation is given below.

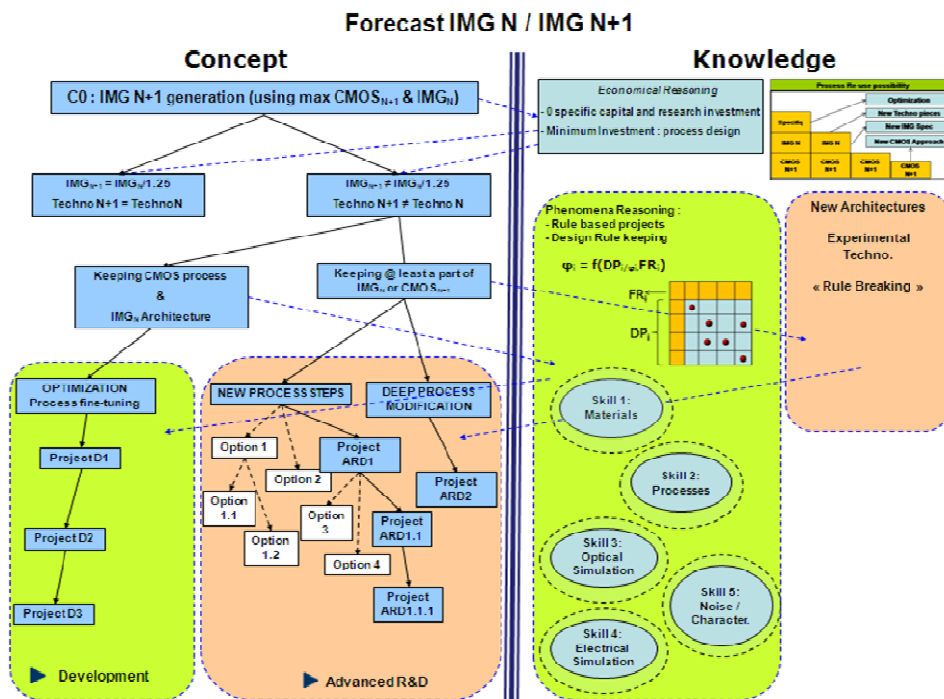


Figure 5: C-K representation of the case study (simplified)

This representation made visible two main families of projects: on the one hand the “rule-based” projects appear as designing the different building blocks of one integrated solution,

based on a CMOS classical architecture: these projects rely on the *design rules* inherited from CMOS experience and improve them; on the other hand “rule breaking” projects aim at structuring several alternate solutions by *breaking some design rules* coming from the CMOS knowledge base and exploring new competences.

### 3.2. A first family of projects: rule based projects

“Rule-based” projects worked actually on modules for the sub-concept: “next generation of cell phone imager *by improving the today, CMOS based technology*”. Such a concept immediately refers to a known set of design rules: a well-identified architecture, well-identified process steps, well-identified competences and scientific disciplines. Even if the design rules are stabilized, the process requires several improvements to meet the specifications of the new imagers generation; thanks to the imager design architecture, these improvements can be divided into “modular” projects, each project dealing with one aspect of the solution and the project results being easily integrated into this final solution. There are about three main rule-based projects dealing with issues concerning fine-tuning of the metal layer, the silicon bulk or the image sensor architecture. We identified five internal major skills (such as material characterization or thermal noise correction) and 75% of these skills answered several issues thanks to a link to external expert in the same field. This gives the following C-K pattern of the family of rule-based projects (see figure 7): each project is a single step into one main solution and knowledge expansion occurs as the improvement of an existing knowledge basis. These projects are actually led by development (D) teams who drive C-expansion, these expansions being limited to well-identified types of knowledge; if necessary D mobilizes internal experts in research; because of the rule-based logic, there is always an internal expert for the questions asked by D. But this internal expert can answer to the question by involving external partners more competent in the field. The expert (or the project team) will always check that the answer is “compatible” with other knowledge bases ie check that this doesn’t break the design rules. For instance the optimization that consists in the reduction of metal layer height reduction (Figure 4 : in case of Front-side Illumination), in order to diminish light diffraction, appears to be one of the D projects. We clearly identify here *classical absorptive capacity*: the experts are able to find an answer in their field of competence. They identify valuable knowledge in it, they can acquire, activate and occasionally adapt the knowledge to the question asked by the project team. We find here a classical model of the interfacing process: the development follows a development process and, if necessary, activates research as a knowledge provider; research acts as an absorptive capacity to complement its expertise by external specialized pieces.

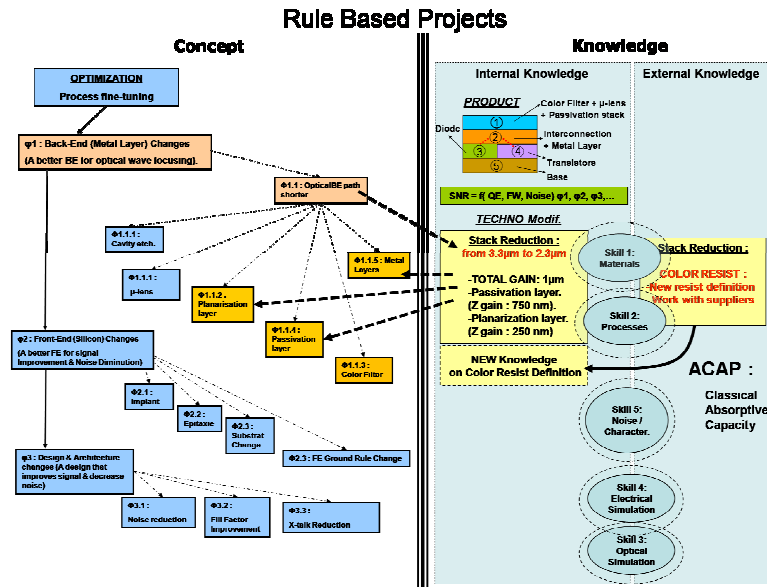


Figure 6: C-K pattern for rule-based projects

### 3.3. A second family of projects: rule breaking projects

The rule-breaking projects are completely different in the C-K pattern: instead of just being one step in a C-tree, one single rule-breaking project covers several alternatives in the C-tree and strongly expand these alternatives; in K such a project will address several knowledge bases, internally and externally; moreover several of these knowledge bases are almost new to the company set of design rules. For instance such a project will address assembling, sticking, connecting nano-electronics circuits: this can of knowledge strongly expand the classical “planar process” design rules (the classical way of making nano-electronic circuits consists in depositing successive layers on a Si-based wafer substrate). It can also explore alternate photo-electronic phenomena. Whereas the family of “rule-based” projects concern several hundreds (about 450 engineer, researchers and managers involved in new image sensor platform development with its specific derivative products) of people, the “rule-breaking” family concerns two main projects and involves about 20 people. Advanced R&D leads these projects.

To better understand the logic of knowledge activation, knowledge use and knowledge production in such projects, we detail the main activities of the one of these ARD projects, namely the exploration of the “3D imager”:

- Activity 1: rule breaking and extension of the exploration to new knowledge bases. 3D is a subconcept of “next generation imager”, defined as “next generation imager with ideal optical surface, by uncoupling photodiode and electronic stack”. This proposition breaks one of the main design rules in imagers which imposes that the electronic stack should be built on the Si-photodiode. This generates a large exploration of possible alternatives for photodiodes in internal and, above all, external knowledge bases. These bases can be very far from the classical design rules. This new idea is globally described in a patent (Cazaux and Herault 2003).

- Activity 2: *generation of multiple design pathes*. The resulting knowledge is “absorbed” into the design reasoning to generate a large list of alternatives. However these alternatives are far from being solutions: they rather emerge as multiple design pathes for future explorations. For instance Tohoku University and the MIT propose to develop parallel approach for 3D image sensor integration (V.Suntharalingam et al. 2005) (Koyanagi and Fukushima 2006). This alternative consists in processing the photo-sensor in one hand and on the other hand to process the transistor part, in order to stack them at the end of the process. Another alternative would be to develop a sequential process which would imply to re-process the first stack in order to develop the second part above the first one. This second approach has several constraints (the main one is the thermal budget of the first stack) but is an answer to the main constraint generated by the bonding of two distinguished parts (the precision of the alignment).
- Activity 3: *“preparation” of the order of knowledge production*: in C, it is chosen to prolong the design reasoning on a limited number of paths. But these additional explorations can not be directly “externalized” to external research labs. There are several reasons for that:
  - Since the design path is a “rule-breaking” one, the “one-to-one” correspondence between design questions and knowledge experts (seen above in rule-based projects) is now missing. This means first that the relevant knowledge providers are unknown, the network of knowledge providers have to be extended beyond the classical “rule-based” experts and even beyond the classical experts of semiconductor industry.
  - Second, the lack of a one-to-one correspondence also means that the “concept” is not necessarily a “relevant” question for *any* expert in the world. It can not be addressed by one single disciplinary knowledge base. For instance no research lab is able to build relevant experiment to explore the concept “an imager made by bonding while processing”: this relates potentially to (too) many research topics, multiple instruments, multiples open research questions... Hence the ARD project leader has to go from this general question to “sub-questions” that are critical for the design *and that can be addressed by an existing research lab*. For instance: “make a trial on low temperature process flow for a transistor manufacturing” is a question that can be fully externalized as a separate research contract to an external research lab.

This “preparation” of the question to be asked to the knowledge producer requires actually a very intensive ARD activity.

- Activity 4: *design “hooks” for monitoring “sleeping” pathes*: The pathes opened by the exploration process can not be all explored but they are *all monitored*: it is important to be able to identify whether competitors, suppliers or scientists bring new knowledge that would make paths more promising. To be able to conduct an effective intelligence, it is necessary to *refine the concept to “link” it to open knowledge bases* such as publications, patents, demonstrators, prototypes or



industrial roadmaps. In particular each concept has to be clarified as far as being occasionally linked to ITRS roadmap nodes, to which almost all knowledge produced in semiconductor community is related sooner or later. For instance the decision to adopt a sequential approach rather than a parallel one for the 3D integrated image sensor was motivated by several publications proposed by competitors (Hoon Lim 2005) which have shown the relevance of this kind of approach. With these conceptual hooks, trials, demonstrators, scientific results, patents published by competitors and research labs all around the world can be regularly added to the relevant design path.

- Activity 5: the knowledge produced and the overall exploration process leads to build one acceptable solution path and the (new and minimal) design rules that are associated to this design path. This design path appears now as a feasible concept to be designed by development. Hence the end of the process is not a validated alternative but it is an alternative that can now be treated by development (Coudrain et al. 2008).

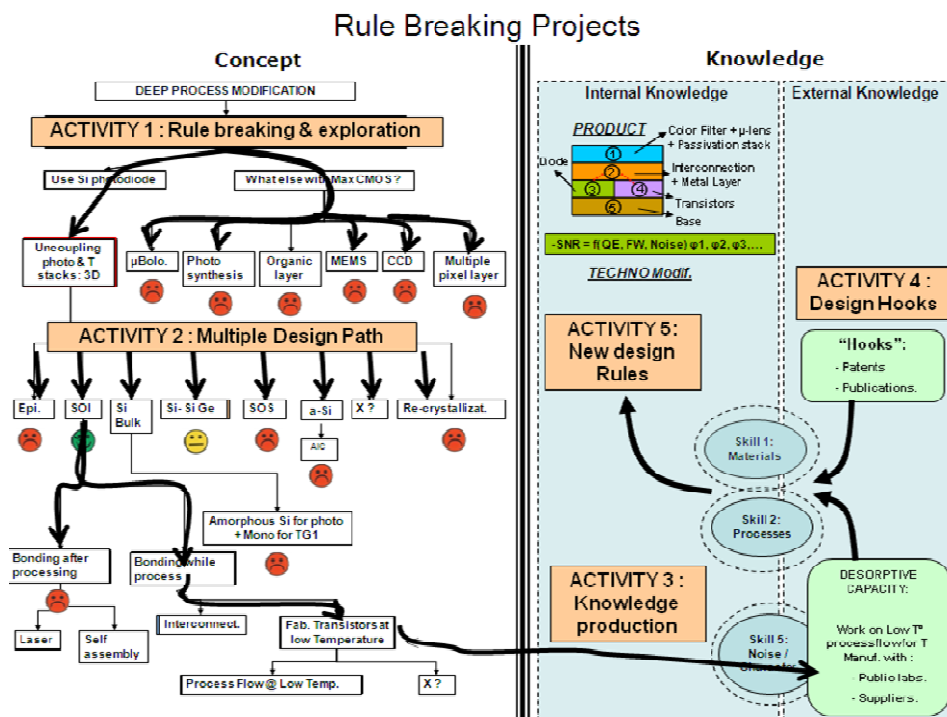


Figure 7: C-K pattern for rule-breaking projects

This process mixes several types of actors and several types of “research”.

- 1- The project leader is a member of advanced R&D; he is in charge of breaking design rules and building new knowledge to re-establish new design rules;
- 2- Internal and external research labs are activated by advanced R&D: these actors are expanding a well identified set of rules, using their usual instruments, concepts, scientific speciality... The questions asked by ARD are precisely supposed to make use of their knowledge or their capacity to produce knowledge in well-identified

directions. The list of relevant research actors is not fixed ex ante: the identity of the research actors involved in the process depends on the activation by advanced R&D.

- 3- Development actors are almost absent of such a process (even if they could be involved or instance in the development of a partial prototype).

This analysis helps to reveal two movements:

- 1- We still find a movement from external knowledge bases to innovation, ie absorptive capacity: ARD is able to use existing knowledge (see patent and literature survey for instance); and researchers doing experiments for ARD will also activate their network of external partners.
- 2- We also identify an intensive activity for identifying the relevant knowledge or the relevant knowledge to be produced. This activity is strongly different from the “use” of existing knowledge; it is actually a movement from innovation to external knowledge and knowledge production. It takes several forms: break design rules, design “hooks” for monitoring design paths, design the right “question” to be asked to knowledge providers and/or producers. This activity is done by advanced R&D; it is demanding and time consuming: it requires a capacity to structure and begin to explore multiple design paths, far from classical design rules, a capacity to learn fast on new knowledge bases, a capacity to identify the most fruitful paths and experiments. The place of economics is very strong in this activity since advanced R&D often works with very limited (financial) means and each experiment must be designed to be as effective as possible in terms of the ratio learning vs costs.

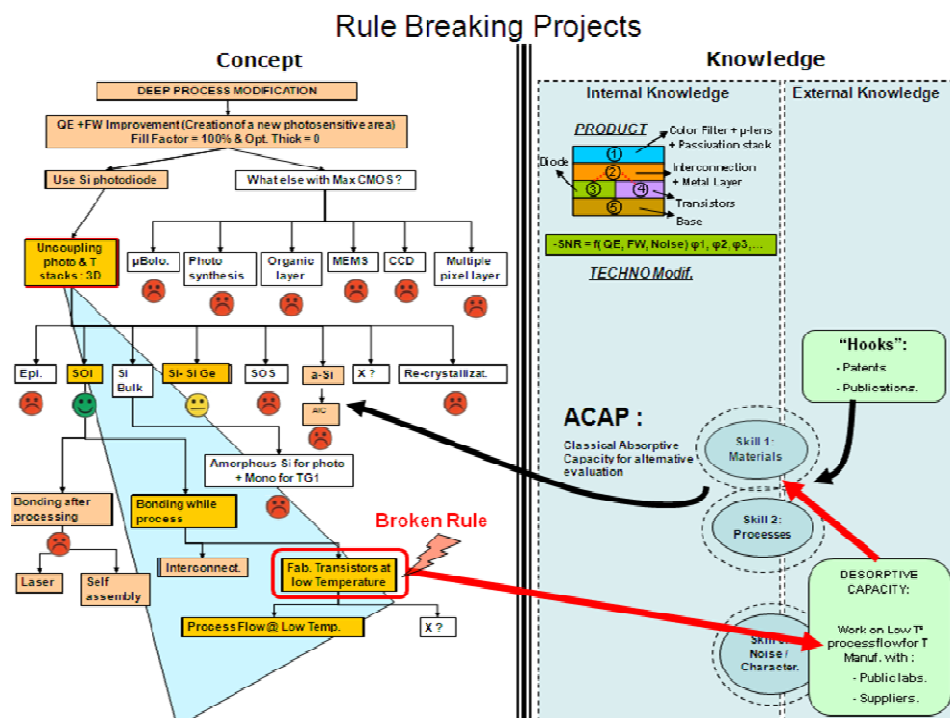


Figure 8: C-K model for project types 2

## **PART 4. DISCUSSION: DESORPTIVE CAPACITY AND ABSORPTIVE CAPACITY, TWO FACETTES OF R&D FOR RADICAL INNOVATION**

### **4.1. Discussion of research propositions: desorptive capacity and R&D**

#### 4.1.1. P1: Desorptive Capacity.

The case study underlined a capacity to manage the movement that goes from the innovation process to the knowledge production process. This movement was implicit in absorptive capacity and was often covered by the notion of “value recognition”. As Pasteur said: “fortune favors the prepared mind”, desorptive capacity is precisely the capacity to prepare the mind for “recognizing” relevant knowledge. It should be noted that Cohen and Levinthal also use Pasteur citation in one of their articles on absorptive capacity entitled “fortune favors the prepared firms” (Cohen and Levinthal 1994). The citation is actually not discussed in the paper, where the firm’s “preparation” is assimilated to the level of knowledge in certain fields of technology and science. The case study enables to considerably enrich this perspective, by identifying different ways of preparing “mind”.

Building on the image of “absorptive capacity”, we propose to speak of “desorption” to describe a reverse and complementary process for absorption. Whereas absorption describes the process of accumulation of a gas or a liquid on a surface (adsorption) or in a bulk material (absorption in a liquid or in a solid to form a solution), desorption describes the process whereby a substrate is released from a substance and becomes free for further adsorption (or absorption) of new substances.

The case study reveals that this movement can actually be rigorously structured and can take multiple, complementary aspects:

- 1- *Rule-breaking: free the conceptual substrate.* Desorptive capacity is first a capacity to *free* an active site, ie to take off an existing design rule. The design rule forbade questions by making the answer self-evident (either self evidently true or false). For instance: the design rule “done with existing CMOS process” forbade “a photodiode above the electronic stack”; if this rule is withdrawn then this latter proposition becomes “active”. *This activity has often been described as “out of the box thinking” or creative thinking in research* (Weisberg 1999b; Weisberg 1999a). More precisely, it helps to characterize this specific trait of creative research: creative research is not the generation of “good ideas” but the capacity to *break design rules*. Hence this aspect of desorptive capacity corresponds to one critical feature of creative research identified by cognitivists as breaking “generative rule” (Boden 1990).
- 2- *Building conceptual hooks for knowledge: build a receptive conceptual substrate.* When the site is free from design rules, it has also to be prepared to “attract” knowledge from everywhere. For instance the proposition “a photodiode above the electronic stack” has to be reworked to prepare hooks. To simplify three families of hooks can be identified: alternate processes for photodiode, alternate processes for “assembling” an electronic stack and a photodiode and alternate processes for making an electronic stack. To follow the chemical metaphor, it means that the free

site must be prepared to become “*receptive*” to molecules that are in the liquid but hadn’t been in contact with the substrate before.

This activity is close to the logics of anticipation and risk management. As Loch explains, in situation of “unforeseeable future”, « diagnosing unforeseeable influence factors appears as an oxymoron » but this is still possible to “identify a priori the type of uncertainty” (Loch et al. 2008). In front of “unk unk” risk managers have to figure out all possible risks of failure (Loch et al. 2006) just as researchers have here to generate all possible conceptual alternatives that could be promising paths for competitors. Note that this capacity is different from the “acquisition” or “assimilation” capacity, which rather insists on the integration of existing knowledge: this is rather a preparatory activity that will enable the acquisition when knowledge appears in the environment. This helps to distinguish two separate activities in techno-economic intelligence: identify the knowledge bases to be scanned (make receptive substrate) and acquire knowledge when it appears in the knowledge bases (acquisition-assimilation). The influenza watching network can be more or less efficient to learn on the annual virus (acquisition) but it only exist if one knows that influenza viruses have to be watched, where they can be watched and how.

- 3- *Well-targeted orders for knowledge producers: build a reactive conceptual substrate.* When the site is free and ready to attract knowledge from varied horizon, it is still possible that no knowledge is available for the site. Hence the site has to be reworked to become a kind of “*reactive*” site to organize the synthesis of new pieces of knowledge. But this order for knowledge production has to follow strict rules: it must be interpretable by the existing knowledge producers and feasible with their production system. For instance “a connection between photodiode and the electronic stack through the Si-wafer” was not a proposition that could be accepted as a research contract for the research labs around advanced R&D. The proposition had to be refined and decomposed into questions such as “test the conductivity of a hole of 70 μm diameter and 140μm height filled with different conductive materials (Copper, Aluminium, etc...)”.

This third activity of desorptive capacity reminds of the logics of “efficient” prototyping described by Thomke et al. (Thomke 1998; Loch et al. 2001). Thomke et al. have studied the variety of prototyping strategies depending on the type of experimental devices efficiency, the type of learning expected and the phase of the design process. They show that depending on the level of uncertainty on the design parameters, different means of learning should be mobilized. These strategies appear as one example of this capacity to order knowledge production.

#### 4.1.2. P2: combination of DC and AC.

The case study reveals two types of combinations between absorptive capacity (AC) and desorptive capacity (DC). In rule-based projects, AC and DC appear as antagonists: there is AC but no DC and DC would disturb the projects. AC without DC is possible as long as absorbed knowledge belongs to the same set of rules (or following the chemical metaphor: the substrate adsorbs always the same type of molecules, even if they can be longer, more refined,...). DC would rather disturb rule-based projects since rule-based projects precisely

aim at keeping the same design rules (avoid rule breaking, avoid the destruction of competences and the potential incompatibility implied by rule breaking).

Conversely rule-breaking projects combine AC and DC. DC appears this time as a critical capacity in such a project: it helps to break the (relevant) rules and support AC through relevant “hooks” for knowledge brokers and relevant “orders” to knowledge producers.

We can conclude with the following proposition: AC and DC are antagonists in rule-based projects, where only AC is required and DC avoided; they are complementary in rule-breaking projects, where DC enables AC.

	AC	DC	AC-DC Relationship qualification
Rule based projects	X		AC & DC are antagonist
Rule-breaking projects	X	X	AC & DC are complementary

Figure 9: Combination of AC and DC

#### 4.1.3. P3: AC and DC for evaluating R&D as an interface between knowledge production and innovation.

The case study actually shows several interfaces between knowledge production and innovation process. The interfaces are embodied by different actors in different contexts. Following P2, we distinguish two types of contexts: rule-based projects vs rule-breaking projects. In case of rule-based projects we find two actors at the interface:

- Developers favour the innovation process and try to use as much available knowledge as possible and to limit knowledge production. They avoid desorptive capacity. They marginally use absorptive capacity (in problem solving cases). Their main concern is to avoid propagation of changes when they have to slightly change/improve design rules. We find here the classical pattern of new product development, described for instance by Clark and Wheelwright. The interface between innovation and knowledge can be evaluated as an AC but it is expected from the developers that they use this interface as little as possible.
- Researchers are in charge of efficient and reliable knowledge production. They avoid desorptive capacity. The efficiency of knowledge production can lead them to rely on absorptive capacity to access wider (and possibly cheaper) knowledge sources. We find here the Kline and Rosenberg process. This is one of the forms of absorptive capacity in research described by Cohen and Levinthal. The interface can be evaluated as an AC.

In case of rule-breaking projects we also find two actors at the interface:

- Advanced R&D is in charge of exploring new design paths, by breaking the rules, attracting new types of knowledge and stimulating the production of new knowledge. The role of advanced R&D at the interface between innovation and knowledge should be evaluated as a dual capacity of desorption and absorption. Note that in this case AC can not really exist without DC. This form of AC was identified by Cohen and

Levinthal but in this case the evaluation of the “interfacing” role of R&D can not be limited to its AC.

- Even in rule-breaking cases we still find research labs which are at the interface between knowledge and innovation but only have an absorptive capacity: these are the internal research labs activated by advanced R&D for some experiments. These labs keep their “disciplinary” logic, sticking to their classical speciality, but will nevertheless activate their disciplinary network to answer efficiently to requests coming from advanced R&D. Note that the management logic of “disciplinary” research will make them avoid desorptive capacity but maximize absorptive capacity. The role of this internal “disciplinary” research at the interface between innovation and knowledge should be evaluated as an absorptive capacity. This is also one of the forms of AC identified by Cohen and Levinthal.

#### **4.2. Managerial implications: how to manage and evaluate R&D teams?**

- 1- The propositions first show that the evaluation should distinguish between different types of projects and different types of actors in these projects.
- 2- Evaluating DC appears as critical in the evaluation of R&D. In some cases it should be evaluated that R&D *avoids* DC: in rule-based projects or in “disciplinary” research, the interface should only be absorptive. To follow strictly our framework this mean that the quality of the interface can be evaluated with the classical AC criteria (let remind that these criteria are actually the same as the classical research criteria since AC is assimilated to the R&D knowledge production: papers, conferences, patents,...; some authors have nevertheless added criteria like the capacity to strengthen ties with external knowledge providers in the same knowledge field (Powell and Brantley 1991b; Gilsing and Duysters 2008a; Powell and Brantley 1991a; Gilsing and Duysters 2008b). Moreover: only pieces in the well-defined research field or its direct adjacent fields would be valued (in the perspective of compatibility preservation and efficiency of knowledge production). In a less restrictive way, this means that “unwanted DC” has to be managed: it is not self evident to tell whether knowledge production in rule-based projects and/or in disciplinary research is rule-breaking or not; check compatibility, find ways to limit propagation, or simply warn for risks of rule-breaking appear as *criteria to evaluate the capacity to keep “unwanted DC” under control*.
- 3- Conversely rule-breaking projects should have at least one actor in charge of both AC and DC. If this actor is advanced R&D (as in our case study), then the evaluation can not be limited to disciplinary knowledge production: counting papers, patents or conferences won’t be enough to characterize the “interfacing” capacity. *Rule-breaking, hooks design for monitoring and the efficient order of knowledge production should also be taken into account in the evaluation*.

#### **4.3. Further Research**

In this paper we have shown one main gap in the literature: the capacity to activate knowledge and knowledge production from the innovation process point of view, which is critical for radical innovation, is insufficiently described by absorptive capacity, which rather

focuses on the capacity to use existing knowledge in the innovation process. Based on our case-study, we identify a so-called “desorptive capacity”, which encompasses the capacity to break design-rule (free active sites), to design hooks for effective monitoring of emerging knowledge (build receptive sites), and formulate orders for knowledge production on well-targeted research questions (build reactive sites). We show that the combination of AC and DC can follow two opposite logics: rule-based projects, which rely on AC while avoiding DC, and rule-breaking projects, which rely on DC to enhance AC. We propose a new, integrated evaluation framework for all R&D activities: development, research and advanced R&D.

This first exploratory case study paves the way to further research:

1- The notion of desorptive capacity was proposed after one single case study. It should be tested on a larger scale. In particular it would be interesting to analyse the “brokers” of the new “open innovation” markets in terms of AC and DC. These brokers appear as an interface between innovation and knowledge and they can play a very important and complex role (Lakhani and Panetta 2007). The AC-DC framework could help to distinguish different types of brokers. This framework could also be helpful to analyse the new actors in cluster management: the actors in charge of connecting companies and research labs in a geographic areas could be either AC (make use of existing knowledge, expand existing knowledge base in well-identified direction to gain a global excellence) or DC oriented (support and stimulate rule-breaking, support the emergence of new skills and scientific disciplines).

2- We identified three aspects of desorptive capacity. There might be others. Moreover we could discover new forms of activities to support DC: what could be contracts, demonstrators or prototypes dedicated to DC?

3- The notion of DC could have consequences on the economic evaluation of R&D. The notion of absorptive capacity emphasized the value of R&D as a network activator (with advantages in terms of costs or speed). It also showed the risk of feed back loops and path dependency (Todorova and Durisin 2007). An R&D with high DC should on the contrary be able to expand the network, open alternate paths, create new disciplines.

## ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank STMicroelectronics Crolles and its Advanced R&D team for the helpful comments that they provide on this work. This work was carried out with the financial support of the ANR- Agence Nationale de la Recherche - The French National Research Agency» under the “Programme Entreprise”, project RITE.

## References

- Adler, N., Shani, A.B. and Styhre, A., 2003. Collaborative Research in Organizations: Enabling Change Learning and Theory Development. *London: SAGE*.
- Argyris, C., and D. A. Schön. 1996. *Organizational Learning II*. Edited by E. H. Schein and R. Beckhard: Addison-Wesley.
- Baldwin, C. Y., and K. B. Clark. 2000. *Design Rules, volume 1: the power of modularity*. Cambridge, MA, USA: The MIT Press.
- Baldwin, C. Y.. 2006. Modularity in the Design of Complex Engineering Systems. In *Complex Engineered Systems: Science Meets Technology*, edited by D. Braha, A. A. Minai and Y. Bar-Yam. New York, NY: Springer.
- Ben Mahmoud-Jouini, S., F. Charue-Duboc, and F. Fourcade. 2006. “Managing Creativity Process in Innovation Driven Competition,”. In *13th International Product Development Management Conference*,. Milan: EIASM & Politecnico di Milano, 111-126.
- Boden, M. 1990. The creative mind (*Great Britain: George Weidenfeld and Nicolson Ltd*).
- Cazaux, Y., and D. Herault. 2003. Capteur dimages French Patent
- Chesbrough, H. W. 2003. *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*: Harvard Business School Press.
- Cohen, W. M., and D. A. Levinthal. 1989. Innovation and Learning: The Two Faces of R & D. *the Economic Journal* 99 (397):569-596.
- Cohen, W. M.. 1990. Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quaterly* 35 (1990):128-152.
- Cohen, W. M.. 1994. Fortune Favors the Prepared Firm. . *Management Science* 40 (2):227-251.
- Coudrain, P., P. Batude, X. Gagnard, C. Leyris, S. Ricq, M. Vinet, A. Pouydebasque, N. Moussy, Y. Cazaux, B. Giffard, P. Magnan, and P. Ancey. 2008. Setting up 3D Sequential Integration for Back-Illuminated CMOS Image Sensors with Highly Miniaturized Pixels with low temperature Fully Depleted SOI transistors. In *IEEE IEDM*. San Francisco.
- Dubois, A. a. G., L.E. 2002. Systematic combining: an abductive approach to case research. *Journal of Business Research* 55:553–560.
- Eisenhardt, K. M. 1989. Building Theories from Case Study Research. *Academy of Management Review* 14 (4):532-550.
- Elmquist, M., and P. Le Masson. 2009. The value of a ‘failed’ R&D project: an emerging evaluation framework for building innovative capabilities. . *R&D Management* 39 (2):136-152.
- Elmquist, M., and B. Segrestin. 2007. “Towards a new logic for Front End Management: from drug discovery to drug design in pharmaceutical R&D,”. *Journal of Creativity and Innovation Management* 16 (no. 2 ):106-120.



- Elmqvist, M. 2008. Organizing open innovation in practice: a case study of an environmental innovation project in the automotive industry. Paper read at IPDM, at Hambourg.
- Gilsing, V. A., and G. Duysters. 2008a. Understanding novelty creation in exploration networks-structural and relational embeddedness jointly considered. *Technovation* 28:693-708.
- Gilsing, V. A. 2008b. Understanding novelty creation in exploration networks-structural and relational embeddedness jointly considered. *Technovation* 28:693-708.
- Hatchuel, A. 2001. The Two Pillars of New Management Research. *British Journal of Management* 12 (Special Issue):S33-S39.
- Hatchuel, A. 2009. C-K design theory: an advanced formulation. *Research in Engineering Design* (19):181-192.
- Hatchuel, A. and B. Weil. 2003. A new approach of innovative design: an introduction to C-K theory. Paper read at ICED'03, august 2003, at Stockholm, Sweden.
- Hatchuel, A.. 2007. Design as Forcing: deepening the foundations of C-K theory. Paper read at International Conference on Engineering Design, at Paris.
- Hatchuel, A. 2009. C-K design theory: an advanced formulation. *Research in Engineering Design* 19:181-192.
- Hoon Lim, S.-M. J., Youngseop Rah, Taehong Ha, Hanbyung Park, Chulsoon Chang, Wonsuk Cho, Jaikyun Park, Byoungkeun Son, Jaehun Jeong, Hoosung Cho, Bonghyun Choi and Kinam Kim. 2005. 65nm High Performance SRAM Technology with 25F2, 0.16um<sup>2</sup> S3 (Stacked Single-crystal Si) SRAM Cell, and Stacked Peripheral SSTFT for Ultra High Density and High Speed Applications. In *Proceedings of IEEE ESSDERC*. Grenoble.
- Hounshell, D. A., and J. K. Smith. 1988. *Science and Corporate Strategy: Du Pont R&D, 1902-1980*. Edited by L. Galambos and R. Gallman. Cambridge: Cambridge University Press.
- ITRS. 2007. International Technology Roadmap for Semiconductors edition 2007.
- Katila, R., and G. Ahuja. 2002. Something old, something new: a longitudinal study of search behaviour and new product introduction. *Academy of Management Journal* (45):1183–1194.
- Kazakçi, A. O., and A. Tsoukias. 2005. Extending the C-K design theory: a theoretical background for personal design assistants. *Journal of Engineering Design* 16 (4):399-411.
- Kline, S. J., and N. Rosenberg. 1985. An Overview of Innovation. In *The Positive Sum Strategy, Harnessing Technology for Economic Growth*, edited by R. Landau and N. Rosenberg. Washington: National Academy Press, pp. 275-305.
- Koyanagi, M., and T. Fukushima. 2006. Three-Dimensional Integration Technology Based on Wafer Bonding With Vertical Buried Interconnections. *IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES* 53 (No. 11).
- Lakhani, K. R., and J. A. Panetta. 2007. The Principles of Distributed Innovation. *Innovations: Technology, Governance, Globalization* 2 (3 (summer 2007)):97-112.
- Lane, P. J., B. R. Koka, and S. Pathak. 2006. The reification of absorptive capacity: a critical review and rejuvenation of the construct. *Academy of Management Review* 31 (4):833-863.
- Laursen, K., and A. Salter. 2004. Searching high and low: what types of firms use universities as a source of innovation? *Research Policy* (33):1201–1215.
- Le Masson, P., Hatchuel, A. and Weil, B. 2006. Les processus d'innovation. Conception innovante et croissance des entreprises. *Paris: Hermès*.
- Loch, C. H., C. Terwiesh, and Thomke. 2001. Parallel and Sequential Testing of Design Alternatives. *Management Science* 45 (5):663-678.

- Loch, C. L., A. D. Meyer, and M. T. Pich, eds. 2006. *Managing the Unknown* Edited by N. J. W. S. Hoboken.
- Loch, C. L., M. E. Solt, and E. M. Bailey. 2008. "Diagnosing Unforseeable Uncertainty in a New Venture," *Journal of product innovation management* 25:28-46.
- Miller, W. L., and L. Morris. 1999. *Fourth Generation R&D, Managing Knowledge, Technology, and Innovation*. New-York: John Wiley & Sons, Inc.
- Myers, M. B., and R. S. Rosenbloom. 1996. Rethinking the Role of Industrial Research. In *Engines of Innovation, U.S. Industrial Research at the End of an Era*, edited by R. S. Rosenbloom and W. J. Spencer. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press, pp. 209-228.
- O'Connor, G. C., and R. DeMartino. 2006. Organizing for Radical Innovation: An Exploratory Study of the Structural Aspect of RI Management Systems in Large Established Firms. *Journal of product innovation management* 23:475-497.
- Powell, W. W., and P. Brantley. 1991a. Competitive cooperation in Biotech: Learning Through Networks. In *Networks and Organizations*, edited by N. Nohria and R. Eccles. Boston, MA: Harvard Business School Press.
- Powell, W. W, eds. 1991b. *Competitive cooperation in Biotech: Learning Through Networks*. . Edited by e. b. N. N. a. R. Eccles. Boston.
- Rothaermel, F. T., and M. Thursby. 2005. University-incubator firm knowledge flows: assessing their impact on incubator firm performance. *Research Policy* (34):305-320.
- Roussel, P. A., K. N. Saad, and T. J. Erickson. 1991. *Third Generation R&D, managing the link to corporate strategy*. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press.
- Shani, A. B., Albers Mohrman, S., Pasmore, W.A., Stymne, B. and Adler, N. (eds.). 2007. *Handbook of Collaborative Management Research*. *Thousand Oaks: Sage Publications*.
- Siggelkow. 2007. Persuasion with case studies. *Academy of Management Journal* 50 (1):20-24.
- Starkey, K., and P. Madan. 2001. Bridging the relevance gap: aligning stakeholders in the Future of Management Research. *British Journal of Management* 12:3-26.
- Strauss, A., and J. Corbin, eds. 1998. *Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*,. Edited by n. e. Sage. Newbury Park: CA.
- Thomke, S. H. 1998. Managing Experimentation in the Design of New Products. . *Management Science* 44 (6):743-762.
- Tilton, J. H. 1971. *International Diffusion of Technology: The Case of Semiconductors*. Washington D. C.: Brookings Institution.
- Todorova, G., and B. Durisin. 2007. Absorptive capacity: valuing a reconceptualization. *Academy of Management Review* 32 (3):774-786.
- V.Suntharalingam, R. Berger, J. A. Burns, C. K. Chen, C. L. Keast, J. M. Knecht, R. D. Lambert, K. L. Newcomb, D. M. O'Mara, D. D. Rathman, D. C. Shaver, A. M. Soares, C. N. Stevenson, B. M. Tyrrell, K. Warner, B. D. Wheeler, D.-R. W. Yost, and D. J. Young. 2005. Megapixel CMOS Image Sensor Fabricated in Three-Dimensional Integrated Circuit Technology. In *ISSCC*.
- Van de Ven, A. H. 2007. *Engaged Scholarship. A guide for organizational and social research*. New York: Oxford University Press.
- Weisberg, R. W. 1999a. creativity and Knowledge: A Challenge to Theories. In *Handbook of Creativity*, edited by R. J. Sternberg. cambridge: Cambridge University Press, 226-250.
- Weisberg, R. W., ed. 1999b. *creativity and Knowledge: A Challenge to Theories*. . R. J. Sternberg: cambridge: Cambridge University Press.

- Wheelwright, S. C., and K. B. Clark. 1992. *Revolutionizing Product Development, Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality*. New York: The Free Press, Macmillan , Inc.
- Yin, R. K. 2003. *Case Study Research: Design and Methods*. Edited by L. Bickman and D. J. Rog. 3rd ed. Thousand Oaks: Sage.
- Zahra, S. A., and G. George. 2002. Absorptive capacity: a review, reconceptualization, and extension. *Academy of Management Review* 27 (2):185-203.



## **Evaluation et pilotage des activités de recherche dans la R&D centrale de STMicroelectronics - Nouveaux principes de management de la recherche industrielle pour l'innovation de rupture**

**RESUME :** La microélectronique est une industrie « science-based », particulièrement intensive en recherche. La dynamique industrielle passe par un renouvellement régulier des compétences et des produits qui doivent suivre la loi de Moore et explorer ce que pourrait être le « More than Moore ». Plus précisément, cette situation d'innovation intensive est caractérisée par une logique de « rupture technologique répétée ». STMicroelectronics a fait l'hypothèse qu'un tel contexte appelait des formes originales de pilotage et d'évaluation des activités de recherche avancée. Le travail de thèse a consisté à étudier trois facettes de cette question: recherche et « capacité d'absorption », recherche et renouvellement des plateformes, recherche et propriété industrielle. Le travail montre que le contexte de rupture invite à réviser et étendre ces notions. 1- La recherche est considérée comme une façon d'améliorer la «capacité d'absorption» de l'entreprise. Grâce à l'étude des raisonnements de conception sur plusieurs activités de recherche nous distinguons une forme « épistémique » de cette capacité d'une forme «conceptuelle», la seconde caractérisant les projets de conception innovante. 2- La recherche est considérée comme un moyen de préparer les futures générations de produits. La modélisation économique du renouvellement de plateformes, souligne son rôle spécifique vis-à-vis du capital de règle (peu pris en compte dans les calculs de rentabilité). La contribution de cette recherche pour la rupture consiste à identifier des concepts originaux et génériques. 3- La recherche est enfin considérée comme un moyen de renouveler la propriété industrielle, les brevets protégeant des efforts de R&D réalisés. Or pour la recherche de rupture, il s'agit de concevoir des brevets sans développer entièrement des technologies. Nous proposons la méthode «C-K Invent» dérivée de la théorie C-K qui a permis de développer des capacités de conception de brevets dans le cadre de technologies 3D.

**Mots clés :** Recherche avancée, Innovation de rupture, Capacité d'absorption, Plateforme, Propriété industrielle

### **Advanced Research evaluation and monitoring at STMicroelectronics central R&D. Discussing & extending industrial research management practices for radical innovation.**

**ABSTRACT:** The semiconductor industry is a science-based sector, and an area where there is clearly a drive for intensive innovation and R&D. Its industrial dynamics are based on competence, skill acquisition and rapid product renewal in order to keep up (and reinforce) the strategic coordination activity described as Moore's law. In addition, these industrial dynamics relate to elaborating this strategic game to include more elements, known as «More than Moore», and to explore what this new coordinated design field could be. More specifically, the context of More than Moore is characterized by disruptive innovation and roadmaps are developed to structure these repeated (mostly planned) technological breakthroughs. The above context is visible in one of the world leaders in the semiconductor industry, STMicroelectronics, and the fast pace and new situation of More than Moore, requires that research evaluation and monitoring should involve original management tools. The activities reported in this thesis, are structured along three research lines: (1) research and absorptive capacity, (2) research and platform renewal and (3) research and industrial property. I suggest that classical research evaluation tools should be extended and discussed. 1-Research has often been considered as a way to improve «absorptive capacity». The design reasoning study in several research projects led us to distinguish Epistemic Absorptive Capacity from a Conceptual Absorptive Capacity. Highly innovative research activities consist in augmenting the latter capacity. 2-Research is often considered as a means to prepare future product generations. Modeling platform renewal logics lead us to emphasize an advanced research role: design rule asset renewal. 3-Research is often considered as a way to enhance industrial property. The use of a method derived from C-K Theory (which is called C-K Invent), allowed the development of a new patent design capability.

**Keywords :** Advanced R&D, Breakthrough, Absorptive Capacity, Platform, Industrial Property.